

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DELMAR SANTIN

PRODUTIVIDADE, TEOR DE MINERAIS, CAFÉÍNA E TEOBROMINA EM
ERVA-MATE ADENSADA E ADUBADA QUIMICAMENTE

CURITIBA
2008

DELMAR SANTIN

PRODUTIVIDADE, TEOR DE MINERAIS, CAFEÍNA E TEOBROMINA EM ERVA-
MATE ADENSADA E ADUBADA QUIMICAMENTE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Sol, Área de Concentração em Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo

Orientador:

Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann

Co-orientadores:

Prof. Dr. Agenor Maccari Junior

Prof. Dr. Antonio Carlos Vargas Motta

CURITIBA

2008

Santin, Delmar

Produtividade, teor de minerais, cafeína e teobromina em erva-mate adensada e adubada quimicamente / Delmar Santin.— Curitiba, 2008.

114 f.

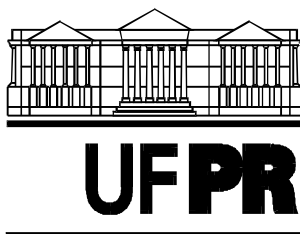
Orientador: Carlos Bruno Reissmann.

Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

1. Erva-mate - Cultivo. 2. Erva-mate – Adubos e fertilizantes. I. Título.

CDU 633.77

CDD 633.77

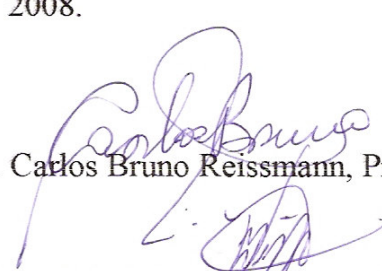


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO (MESTRADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax: 41-350-5648
Página: www.pgcsolo.agrarias.ufpr.br/
E-mail: pgcsolo@ufpr.br

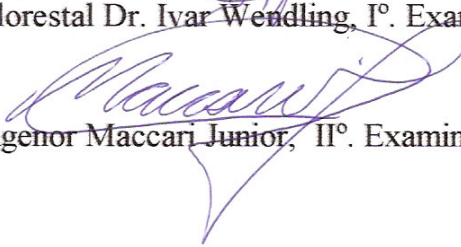
PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **DELMAR SANTIN**, sob o título: **"Produtividade, teor de minerais e cafeína e teobromina em erva-mate adensada, adubada quimicamente"**, requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 10 de março de 2008.


Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann, Presidente.


Engenheiro Florestal Dr. Ivar Wendling, Iº. Examinador.


Prof. Dr. Agenor Maccari Junior, IIº. Examinador.



*Faça o que eu digo parceiro
Tenteie o mate com calma
A seiva que invade a alma
Feita de folha madura
Traz vertentes de água pura
Na verde e xucra infusão
E faz o tempo teatino
Parar na palma da mão.*

Jorge Lima

Dedico,

A minha família, pelo incentivo, apoio e confiança concedido, como elementos essenciais ao meu retorno aos estudos e, no sucesso na vida acadêmica.

A Eliziane, pela dedicação, apoio, companheirismo, afeto e carinho durante todos esses anos de convivência.

AGRADECIMENTOS

Expresso aqui os meus sentimentos de gratidão a todos aqueles que, de uma forma ou outra contribuíram na concretização deste trabalho, em especial,

Ao Dr. Carlos Bruno Reissmann, Professor Titular do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, pela orientação, participação ativa, acompanhamento e revisão do trabalho e, acima de tudo a amizade.

A Baldo S.A. Comércio, Indústria e Exportação, Filial São Mateus do Sul - PR, na pessoa de Leandro B. Gheno por disponibilizar recurso financeiro, mão de obra e, acima de tudo, pela confiança concedida antes, durante e após a execução deste trabalho.

Aos funcionários da Baldo S.A, que na pessoa de Divercindo Morandi, além de participar da escolha da área experimental, viabilizou outras atividades na execução do trabalho. A Danilo Domingos, Julmir A. Rosalen, Lucia A. Semkiw, Laudénir L. Trindade, Celso M. Araszewski, Miguel Roczak e Luiz F. Grabowski pela participação fundamental nos trabalhos da execução do experimento.

Ao Sr. Miguel Kuczera pelo empréstimo da área do experimento e ao Sr. Paulo Kuczera pela organização da mão de obra necessária para a execução das colheitas da erva-mate;

Ao Sr. Adão B. Staniszwski por permitir a realização de todo o processo de secagem da erva-mate.

Aos Professores Co-orientadores Dr. Agenor Maccari Junior e Dr. Antônio Carlos Vargas Motta pelas sugestões e correção do trabalho;

Ao pesquisador da Embrapa Florestas Dr. Edilson Batista de Oliveira pelas sugestões da estatística do trabalho.

Ao colega Eng. Florestal Gilvano E. Brondani pela dedicação na execução da análise estatística.

Aos funcionários laboratoristas da UFPR, Aldair M. Munhoz, José R. Pampuche, Flori R. M. Barberi, Reginaldo Bodziak e Elda N. L. Lubasinski pela ajuda nas análises laboratoriais.

Aos funcionários, secretários Gerson Novicki e Marla Motta pelo auxílio e colaboração nos processos burocráticos.

A bibliotecária Simone Amadeu pela organização do manuscrito nas normas exigidas.

A todos os Professores do Departamento de Solos da UFPR e aos colegas que permitiram momentos de aprendizagem e amizade durante este período.

A CAPES pela concessão do auxílio bolsa e a UFPR em nome do Professor Dr. Renato Marques pela disponibilidade laboratorial.

Em especial a Eliziane, minha companheira pela incansável ajuda na aplicação dos tratamentos no experimento, pela revisão do manuscrito, conferência das referências e pelo conforto e carinho prestado.

RESUMO

Nos três Estados do Sul, onde ocorre a maioria da área de erva-mate do Brasil, esta cultura sempre obteve importância social e econômica. Porém, ao longo de sua trajetória de exploração, nunca recebeu atenção técnica e científica a altura de sua significância. Assim o Paraná é um Estado que ainda não apresenta uma recomendação de adubação para esta cultura. O fato de manter colheitas sucessivas sem reposição dos nutrientes exportados tornará a erva-mate uma cultura insustentável a médio e longo prazo. A reposição de nutrientes sem conhecimento da exigência desta cultura poderá comprometer a sanidade e a vida útil das ervaíras. Diante do exposto, instalou-se um experimento em janeiro de 2006 em São Mateus do Sul. O objetivo foi verificar a resposta da erva-mate adensada submetida a diferentes doses de NPK em relação à produtividade de biomassa comercializável; teor foliar de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Al e Na; exportação pela colheita de folhas de N, P, K, Ca e Mg e teor foliar de cafeína, teobromina e hidrossolúveis de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Al e Na. Os tratamentos foram compostos a base de NPK, a partir de recomendações e outros Estados para a cultura da erva-mate, sendo T1: testemunha sem adubação; T2: 50% (N 25, P₂O₅ 10 e K₂O 40 kg ha⁻¹), T3: 100% (N 50, P₂O₅ 20 e K₂O 80 kg ha⁻¹) e T4: 150% da dose recomendada (N 75, P₂O₅ 30 e K₂O 120 kg ha⁻¹). Após dezoito meses verificou-se mudança da produtividade de erva-mate verde de -1, 12, 23, e 35%, respectivamente para os tratamentos T1, T2, T3 e T4. O teor foliar de N, P e K aumentou linearmente com aumento das doses, obtendo respectivamente valor médio 28,4; 1,4 e 21,1 g kg⁻¹. Para os elementos Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Al e Na, o teor médio verificado foi respectivamente de 7,6; 5,3 g kg⁻¹; 76,5; 1.306,0; 14,4; 43,3; 669,3 e 137,5 mg kg⁻¹. Para os macronutrientes analisados, a colheita de folhas proporcionou exportação média de 41,0; 2,0; 30,5; 11,6 e 7,4 kg ha⁻¹, respectivamente para N, P, K, Ca e Mg. A cafeína, com teor foliar médio de 1,35 g 100 g⁻¹ mostrou-se muito variável, já a teobromina com teor médio de 0,38 g 100g⁻¹ diminuiu com o aumento da fertilização. A hidrossolubilidade para cada elemento quando comparada ao teor total apresentou grande variação, tendo extração média de 44, 41, 29, 47, 10, 61, 65, 59, 54 e 87%, respectivamente para P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Al e Na. Conclui-se que o erval adensado respondeu à fertilização com aumento médio de 16,5% no peso da erva-mate verde, sendo que a dose de 150% da recomendada foi insuficiente para maximizar a produtividade. As doses de NPK alteraram o teor foliar da maioria dos elementos estudados, não alteraram o teor foliar da cafeína, mas reduziram o de teobromina. A percentagem de extração via hidrossolúvel, quando comparada a total varia para cada elemento. A reposição dos elementos exportados pela colheita é essencial para a sustentabilidade da produção.

Palavras-chave: Nutrientes. Fertilidade. Sustentabilidade. *Ilex paraguariensis*. Alcalóides.

ABSTRACT

In the three southern states of Brazil, where the greatest part of the erva-mate area is situated, this culture always deserved social and economical importance. However, during its exploitation course did not received an appropriate technical and scientific attention in accordance to their relevant contribution, resulting for Paraná, a condition of a state, lacking in having a corresponding fertilization program. The fact in maintaining successive harvestings without the respective nutrient reposition may turn the erva-mate plantation in an unsustainable crop at medium and long term. Furthermore, the nutrient reposition without knowing the requirements of this culture may affect sanity and life of the erva-mate. In this sense, an experiment was set up at São Mateus County, in January 2006. The objective was to verify the response of a mixed natural forest enriched with erva-mate submitted to different doses of a NPK fertilizer in relation to commercial biomass productivity; foliar content of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Al and Na; N, P, K, Ca and Mg export rate through leaves harvesting; foliar content of caffeine and theobromine, and water soluble P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Al and Na. The treatments were represented by a NPK combination based on general recommendations for the erva-mate culture, being: T1 control (no fertilization); T2, 50% of the recommended doses (N 25, P₂O₅ 10 and K₂O 40 kg ha⁻¹) T3 100 % of the recommended doses (N 50 P₂O₅ 20 and K₂O 80 Kg ha⁻¹) and T4 150% of the recommended doses (N 75 P₂O₅ 10 and K₂O 40 Kg ha⁻¹). After 18 months, an alteration in productivity of fresh erva-mate biomass, was verified in order of -1, 12, 23 and 35 %, respectively to the treatments T1, T2, T3 and T4. The leaf contents of N, P and K increased linearly with the doses reaching respectively mean values of 28,4; 1,4 and 21,1 g kg⁻¹. The elements Ca and Mg, and Fe, Mn, Cu, Zn, Al and Na reached respectively 7,6 and 5,3 g. kg, and 76,5; 1306,0; 14,4; 43,3; 669,3 and 137,5 mg kg⁻¹. The leaf harvesting resulted in a medium export rate for N, P, K, Ca and Mg of 41,0; 2,0; 30,5; 11,6 and 7,4 kg ha⁻¹ respectively. The caffeine, with a mean content of 1,35 g 100 g⁻¹ showed to be highly variable, while theobromine presenting a mean value of 0,38 g 100 g⁻¹ diminished with fertilizer increase. The water solubility for each element, when compared to the total content showed high variability representing a solubility rate of 44, 41, 29, 47, 10, 61, 65, 59 and 87 % respectively for P,K, Ca, Mg, Fe, Mn, cu, Zn, Al and Na. It is concluded that the enriched mixed forest with new mate plants responded to fertilization with a mean increment of about 16,5 % in fresh weight, being the 150% recommended dose in relation to standard recommendations insufficient to maximize the productivity. The NPK doses altered the leaf contents of the majority of the studied elements; did not alter the leaf contents of caffeine, but reduced those of theobromine. The reposition of the elements exported via harvesting is fundamental for the sustainability of the productivity.

Key Words: Nutrients. Fertility. Sustainability. *Ilex paraguariensis*. Alkaloids.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 2.1 - OCORRÊNCIA NATURAL DA ERVA-MATE (<i>Ilex paraguariensis</i> St. Hil.) NO BRASIL	19
FIGURA 2.2 - (A) DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO MUNDIAL DE ERVA-MATE E (B) DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO BRASILEIRA DE ERVA-MATE ...	21
FIGURA 2.3 - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA DE ERVA-MATE NO ESTADO DO PARANÁ, PERÍODO 1993 A 2005	22
FIGURA 3.1 - VISTA GERAL DA ÁREA DO EXPERIMENTO	29
FIGURA 3.2 - CROQUI DA ÁREA DO EXPERIMENTO COM 10 BLOCOS (B), SENDO CADA BLOCO COMPOSTO POR 4 PARCELAS DE 15 X 15 m, SEPARADAS POR 5 m DE BORDADURA	30
FIGURA 4.1 - (A) RENDIMENTO DE ERVA-MATE VERDE EM PESO E EM PERCENTAGEM E (B) PESO SECO DE 100 FOLHAS DE ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK	54
FIGURA 4.2 - (A) TEOR FOLIAR MÉDIO DE N E K E (B) TEOR FOLIAR MÉDIO DE P EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK	58
FIGURA 4.3 - TEOR FOLIAR MÉDIO DE Mn EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK	64
FIGURA 4.4 - (A) TEOR FOLIAR MÉDIO DE Cu E Zn E (B) TEOR FOLIAR MÉDIO DE Al E Na EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK.....	66
FIGURA 4.5 - (A) ERVEIRA SEM FERTILIZAÇÃO COM GALHOS SEM FOLHAS E (B) ERVEIRAS VIGOROSAS QUE RECEBERAM DOSE MÁXIMA DE FERTILIZADA COM NPK.....	68
FIGURA 5.1 - (A) TEOR FOLIAR MÉDIO DE CAFEÍNA E (B) DE TEOBROMINA EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK	90
FIGURA 5.2 - (A) VALORES MÉDIOS DO TEOR FOLIAR DE P, K, Ca E Mg E (B) DE Mn EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK.....	93
FIGURA 5.3 - (A) EXTRAÇÃO TOTAL E (B) EXTRAÇÃO AQUOSA DE P E K EM FOLHAS DE ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK.....	97
FIGURA 5.4 - (A) EXTRAÇÃO TOTAL E (B) EXTRAÇÃO AQUOSA DE Ca E Mg EM FOLHAS DE ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK.....	98
FIGURA 5.5 - (A) EXTRAÇÃO TOTAL E (B) EXTRAÇÃO AQUOSA DE Fe E Mn EM FOLHAS DE ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK.....	100
FIGURA 5.6 - (A) EXTRAÇÃO TOTAL E (B) EXTRAÇÃO AQUOSA DE Cu E Zn EM FOLHAS DE ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK.....	102
FIGURA 5.7 - (A) EXTRAÇÃO TOTAL E (B) EXTRAÇÃO AQUOSA DE Al E Na EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS	103

LISTA DE TABELA

TABELA 2.1 - APLICAÇÃO INDUSTRIAL, SUB-PRODUTOS COMERCIAIS E FORMA DE CONSUMO DA ERVA-MATE	24
TABELA 3.1 - DADOS DA ANÁLISE QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, SÃO MATEUS DO SUL-PR.....	27
TABELA 3.2 - NOME COMUM, NOME CIENTÍFICO, NÚMERO MÉDIO DE ERVA- MATE E DE OUTRAS ESPÉCIES QUE OCORREM NA ÁREA DO EXPERIMENTO E ÁREA BASAL, SÃO MATEUS DO SUL – PR	28
TABELA 3.3 - TRATAMENTOS DE FERTILIZAÇÃO COMPOSTOS POR DIFERENTES DOSES DE NPK EM ERVAL ADENSADO, SÃO MATEUS DO SUL – PR	31
TABELA 4.1 - TEORES DE N, P, K, Ca E Mg NORMALMENTE ENCONTRADOS NA ERVA-MATE.....	47
TABELA 4.2 - TEORES DE Fe, Mn, Cu, Zn E Al NORMALMENTE ENCONTRADOS NA ERVA-MATE.....	48
TABELA 4.3 - RESULTADOS DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA A PRODUÇÃO MÉDIA DE ERVA-MATE VERDE PARA AS COLHEITAS DE 2006 E 2007.....	51
TABELA 4.4 - PARÂMETROS DE PRODUTIVIDADE DE ERVA-MATE VERDE NAS COLHEITAS DE 2006 E 2007, E RELAÇÃO ENTRE O PESO VERDE (PV) E O PESO DE SECO (PS) NA COLHEITA DE 2007, EM ERVA- MATE FERTILIZADA COM NPK	52
TABELA 4.5 - DIFERENÇA DA PRODUTIVIDADE DE MASSA VERDE ENTRE A COLHEITA DE 2006 E 2007 EM kg ha ⁻¹ , RECEITAS, DESPESAS E VALOR LÍQUIDO EM R\$ ha ⁻¹ POR TRATAMENTO EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK.....	55
TABELA 4.6 - ANÁLISE DE REGRESSÃO PARA O TEOR FOLIAR MÉDIO DE N, P, K, Ca E Mg EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK.....	57
TABELA 4.7 - ANÁLISE DE REGRESSÃO PARA O TEOR FOLIAR MÉDIO DE Fe, Mn, Cu, Zn, Al E Na EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK.....	61
TABELA 4.8 - PESO SECO DE FOLHAS, TALOS E GALHOS, TEOR E EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES POR TRATAMENTO (TRAT) PARA CADA COMPARTIMENTO (COMP)	69
TABELA 4.9 - QUANTIDADE ADICIONADA E DIFERENÇA ENTRE A ENTRADA MENOS A EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES POR TRATAMENTO (TRAT) FOLHAS, TALOS E GALHOS.....	71
TABELA 5.1 - TEORES DE CAFÉINA E TEOBROMINA OBTIDAS EM ERVA-MATE POR ALGUNS AUTORES.....	86
TABELA 5.2 - TEOR MÉDIO FOLIAR EXTRAÍDO PELOS MÉTODOS TOTAL (ET) E AQUOSO (EA) DE P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Al E Na COM RESPECTIVO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV) DE ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK.....	94

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO GERAL	16
1.1 HIPÓTESES	17
1.2 OBJETIVO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E ECOLÓGICAS DA ERVA-MATE	18
2.2 PRODUÇÃO E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA	19
2.3 SILVICULTURA	22
2.4 UTILIZAÇÃO	23
2.5 COMPOSIÇÃO QUÍMICA	24
2.6 PROCESSO DE SAPECO E SECAGEM	25
2.7 BENEFICIAMENTO	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 MEIO FÍSICO	27
3.1.1 Localização	27
3.1.2 Solo	27
3.1.3 Vegetação	27
3.1.4 Levantamento das espécies	28
3.1.5 Histórico e situação da área	28
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	30
3.2.1 Delineamento e estatística do experimento	30
3.2.2 Tratamentos	31
3.3 COLHEITA E PROCESSAMENTO DA ERVA-MATE	32
3.3.1 Colheita	32
3.3.2 Processamento	32
3.4 COLETA DE MATERIAL PARA ANÁLISE	32
3.4.1 Coleta da biomassa aérea	32
3.4.2 Coleta do solo	33
3.5 ANÁLISES	33
3.5.1 Química e física do solo	33
3.5.2 Folhas	33
3.5.2.1 Digestão via seca e solubilização com HCl 3 mol L ⁻¹	34
3.5.2.2 Hidrossolúveis	34

3.5.2.3 Cafeína e teobromina	35
5.6 CÁLCULOS	36
5.6.1 Produtividade da erva-mate comercial	36
5.6.2 Exportação de macronutrientes.....	36
REFERÊNCIAS	37
ANEXOS 01	41
4 PRODUTIVIDADE E TEOR DE MINERAIS NA ERVA-MATE	44
4.1 INTRODUÇÃO	44
4.2 REVISÃO DE LITERATURA	45
4.2.1 Importância da nutrição para as plantas.....	45
4.2.2 Teor e exportação de nutrientes.....	46
4.2.3 Fertilização	48
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.3.1 Produção de erva-mate verde comercial.....	50
4.3.1.1 Produtividade	50
4.3.1.2 Rendimento e peso de 100 folhas.....	53
4.3.1.3 Viabilidade econômica da fertilização.....	55
4.3.2 Teor foliar de minerais em resposta as doses de NPK	56
4.3.2.1 Teor foliar médio de macronutrientes.....	56
4.3.2.2 Teor foliar de macronutrientes em função das doses de NPK	57
4.3.2.3 Teor foliar médio de micronutrientes, Al e Na	60
4.3.2.4 Teor foliar de micronutrientes, Al e Na em função das doses de NPK.....	63
4.3.3 Estado visual da erva-mate após a fertilização	67
4.3.4 Exportação de macronutrientes pela colheita da erva-mate.....	68
4.3.4.1 Exportação de nutrientes pelas folhas, talos e galhos	68
4.3.4.2 Diferença entrada e saída de macronutrientes.....	70
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS	74
ANEXOS 02	82
5 CAFEÍNA, TEOBROMINA E HIDROSSOLÚVEIS MINERAIS	84
5.1 INTRODUÇÃO	84
5.2 REVISÃO DE LITERATURA	85
5.2.1 Cafeína e teobromina.....	85
5.2.2 Teor de elementos e qualidade de produtos	87

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	89
5.3.1 Teor foliar de cafeína e teobromina.....	89
5.3.2 Teores totais e hidrossolúveis de minerais em folhas de erva-mate	92
5.3.2.1 Comparação de teores minerais entre o método total e aquoso	92
5.3.2.2 Influência da fertilização na hidrossolubilidade de macronutrientes.....	97
5.3.2.3 Influência da fertilização na hidrossolubilidade de micronutrientes, Al e Na ..	99
5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	104
6 CONCLUSÕES	105
6.1 PRODUTIVIDADE E TEOR DE MINERAIS NA ERVA-MATE.....	105
6.2 CAFEÍNA, TEOBROMINA E HIBROSSOLUBILIDADE DE MINERAIS NA ERVA-MATE	106
REFERÊNCIAS.....	107
ANEXOS 03	113

1. INTRODUÇÃO GERAL

Embora a erva-mate sempre fosse vista e tratada pela maioria das pessoas como uma cultura e/ou planta de caráter extrativista, sobrevive até os tempos atuais promovendo importante função social e econômica nos locais de sua ocorrência, principalmente nos três Estados do Sul do Brasil. Em particular no Paraná, as divisas geradas na exploração desta cultura deram sustentação na criação deste Estado, na época pertencente a São Paulo.

Mesmo sendo um marco relevante na história dos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, esta cultura, de maneira geral até o momento não apresenta dados científicos relevantes ao mérito de sua importância.

Para a erva-mate, que ao longo de sua trajetória de exploração perdeu grande parte de sua área de ocorrência em benefício de outras culturas, ainda pouco se sabe sobre seu manejo (nível de sombreamento, tipo e intervalo de poda e espaçamento entre plantas) e, principalmente sua exigência nutricional.

Qualquer colheita seja de culturas anuais, perenes ou florestais, juntamente com o produto colhido são exportadas quantidades expressivas de nutrientes. Caso esses não sejam repostos, ao longo de colheitas sucessivas, implicarão automaticamente na redução da produtividade.

Na cultura da erva-mate, onde o produto almejado são folhas e galhos finos, a saída de nutrientes do local é relevante. A reposição destes é essencial a fim de evitar a degradação da fertilidade do solo e manter bons níveis de produção ao longo dos anos.

Embora boa parte da produção de erva-mate ainda seja oriunda de ervais nativos e adensados, principalmente no Estado do Paraná, não significa que os solos desses ervais não estejam em níveis baixos de fertilidade e que não necessitem de adubação. Isto por que, quando a ciclagem de nutrientes realizada pelas espécies presentes nos ervais, juntamente com a capacidade de liberação de nutrientes do solo, for menor que a taxa de exportação de nutrientes pela exploração da erva-mate, o nível de nutrientes do sítio tende a diminuir, necessitando de reposição dos mesmos.

Conhecer o nível ótimo da necessidade nutricional de uma cultura, sem dúvida é uma das principais chaves para o sucesso da produção. Visto que os

extremos, sejam pela falta ou excesso, para a maioria das espécies podem provocar estresse e, as plantas nessas condições podem aumentar a produção de compostos do metabolismo secundário (MARCHESE; FIGUEIRA, 2005). Para a erva-mate que tem seus principais produtos consumidos de forma in natura, como chimarrão, tererê e chás, esses compostos podem significar mudanças sensoriais dos produtos, prejudicando seu consumo.

Na cultura da erva-mate, seja ela de ervais nativos, adensados ou homogêneos, ainda há poucas pesquisas relacionadas à fertilidade do solo e à nutrição das plantas. Os dados existentes não permitem elaborar uma recomendação de adubação para esta cultura que possa garantir a produção de matéria prima de qualidade.

1.1 HIPÓTESES

Espera-se que ervais adensados respondam à adubação química e que a aplicação conjunta de doses crescentes de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) no solo aumente a produtividade e altere as concentrações destes nutrientes na biomassa comercializável da erva-mate. Há possibilidade que os teores de cafeína e teobromina se alterem com adubação química.

1.2 OBJETIVO

Verificar a resposta da erva-mate em erval adensado submetido a doses crescentes de N, P e K em relação à:

- produtividade de biomassa comercializável;
- teor foliar total de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Al e Na;
- exportação de N, P, K, Ca e Mg pela colheita das;
- teor foliar de cafeína e teobromina nas folhas;
- teor foliar hidrossolúvel de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Al e Na.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E ECOLÓGICAS DA ERVA-MATE

Nas proximidades de Curitiba, em 1822, o naturalista francês August de Saint-Hilaire, coletou e classificou botanicamente a erva-mate como pertencente ao gênero *Ilex* da família Aquifoliaceae (EDWIN; REITZ, 1966). É uma espécie perene, com porte arbóreo e grande longevidade, podendo alcançar mais de 100 anos de idade (Anexos 1, Figura 1 A).

A erva-mate é uma espécie dióica, cuja floração ocorre de setembro a dezembro. Quanto à frutificação, ocorrem frutos maduros de dezembro até abril. A floração e frutificação iniciam gradativamente aos 2 anos em árvores oriundas de propagação vegetativa e aos 5 anos em árvores provenientes de sementes, em sítios adequados. A dispersão das sementes é feita por pássaros, principalmente sabiás (CARVALHO, 1994).

A erva-mate ocorre naturalmente nas províncias de Misiones e Corrientes na Argentina (FONTANA *et al.*, 1990), leste do Paraguai (LOPEZ *et al.*, 1987), e norte do Uruguai (LOMBARDO, 1964). No Brasil (Figura 2.1) ocorre desde a latitude 19°15' S até 31°46' S, com maior concentração nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e em menor intensidade em Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Rio de Janeiro (OLIVEIRA; ROTTA, 1985; CARVALHO, 2003).

Pela classificação de Köppen, a maior parte da erva-mate ocorre em clima Cfa e Cfb, onde na maioria das áreas, as chuvas são regularmente distribuídas em todos os meses do ano, o que caracteriza um clima úmido (OLIVEIRA; ROTTA, 1985). A altitude pode variar de 160 m no Paraná até 1.800 m em São Paulo e a temperatura média anual varia desde 13 °C em São Joaquim - SC a 22 °C em Dourados - MS, mas com maior distribuição de 15 °C a 18 °C (CARVALHO, 2003).

É uma espécie clímax, tolerante a sombra, mas regenera-se com facilidade quando o estrato arbóreo superior e, principalmente quando os estratos arbustivo e herbáceo são raleados. É característica da Floresta Ombrófila Mista Montana, sempre em associação com o pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*), embora no noroeste do Paraná e no sul do Mato Grosso do Sul penetre na Floresta

Estacional Semidecidual. A erva-mate se desenvolve naturalmente em solos de baixa fertilidade, que normalmente apresentam baixos teores de cátions trocáveis, altos teores de alumínio e pH baixo (CARVALHO, 2003).

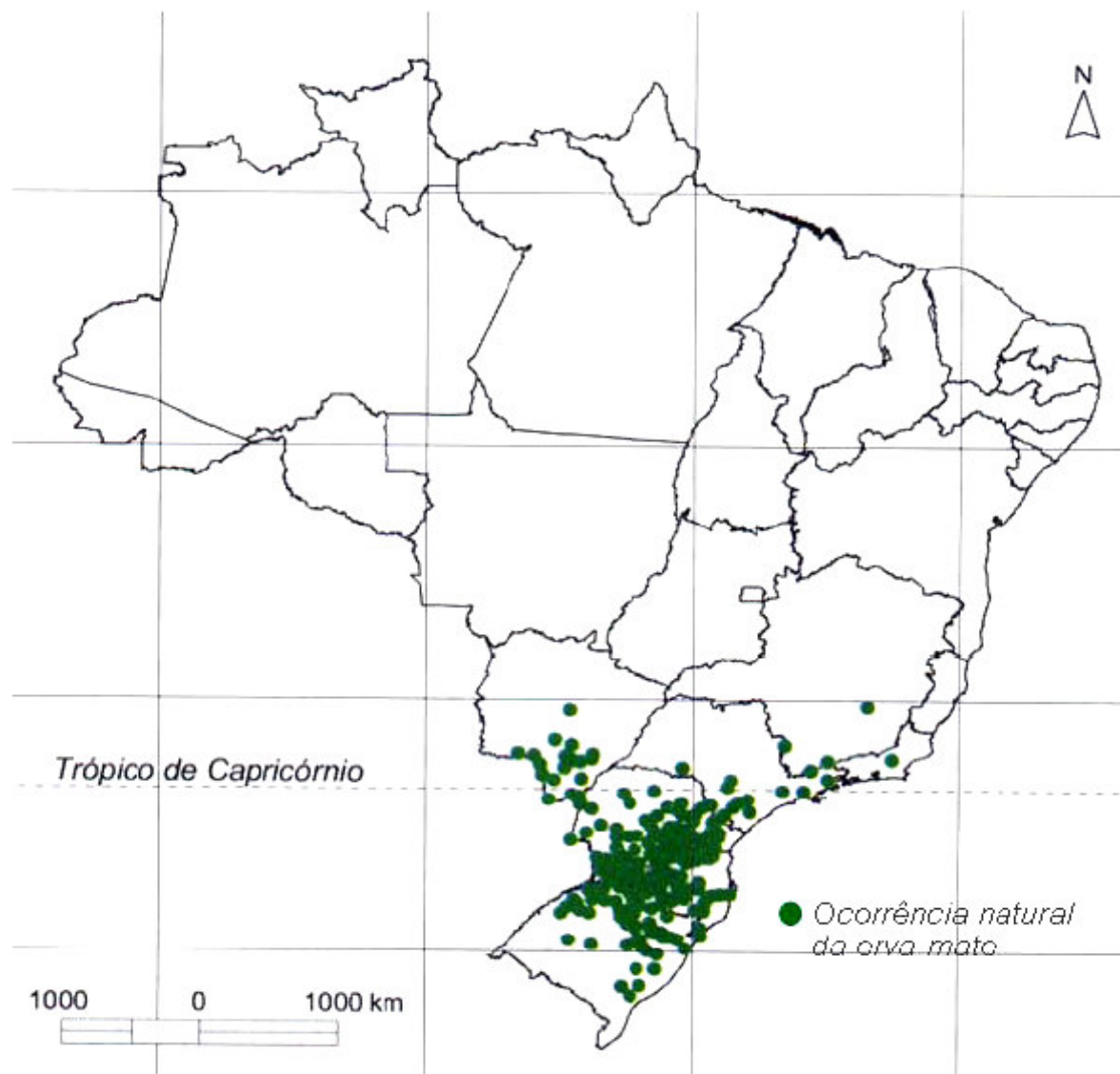


FIGURA 2.1 - OCORRÊNCIA NATURAL DA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) NO BRASIL
FONTE: CARVALHO (2003)

2.2 PRODUÇÃO E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

A área de exploração de erva-mate no Brasil corresponde aproximadamente 773 mil ha, distribuída em torno de 480 municípios produtores (ANDRADE, 1999), concentrando nos três Estados do Sul, mais de 725 indústrias, gerando mais de 710

mil empregos (GAZETA, 1999). Segundo IBGE (2005), a erva-mate representa 15% no valor total da produção extrativista vegetal não-madeirável brasileira, movimentando no ano de 2005 cerca de R\$ 76,7 milhões.

No Paraná a erva-mate participou economicamente em 2004 com R\$ 62.759.804 do Valor Bruto da Produção Agropecuária Paranaense – VBP (ANDRETA, 2006). Neste Estado a erva-mate é produzida por aproximadamente 51 mil propriedades (MAZUCHOWSKI; RÜCKER, 1997), distribuídas em 180 municípios ervateiros (DESER, 2001), onde 60% da produção ainda é oriunda de ervais nativos ou adensados (MACCARI *et al.*, 2007).

Em Santa Catarina a atividade com erva-mate ocorre em 19.700 propriedades rurais, concentrando-se principalmente nas regiões oeste e norte do estado, constituídas por cerca de 80% de ervais nativos e 20% por áreas plantadas (DA CROCE, 2000).

Já no Rio Grande do Sul, Andrade (1999) indicou que a maioria dos ervais nativos foram substituídos por plantios de lavouras anuais. Desta forma, os ervais plantados representam cerca de 70% da área total, restando apenas 30% da área com ervais nativos remanescentes.

Segundo DESER (2001), uma análise realizada pela Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) sobre a atividade dos estabelecimentos processadores de erva-mate na Região Sul, verificou que, durante o período de 1992 a 1995 houve um aumento significativo de estabelecimentos, passando de 409 para 725, resultando no crescimento de 77%, com destaque para o Paraná com crescimento de 152%, contra 84% no Rio Grande do Sul e de 20% em Santa Catarina.

Porém, estudos realizados por Maccari Junior (2005), comparando o comportamento do setor industrial ervateiro no estado do Paraná, entre os anos de 1993 e 2003, mostram mudanças na distribuição nesse setor. Neste período, além da redução de 32% no número de municípios com ervateiras ativas, ocorreu uma queda de 52% do total de ervateiras em funcionamento, sendo que destas, 70% são de pequeno porte. Por outro lado, houve um acréscimo de mais de 50% do número de ervateiras de médio porte, indicando uma tendência de concentração deste setor em áreas de maior produção.

O mesmo autor comenta que a redução do número de ervateiras durante este período, pode estar associada à substituição dos ervais nativos por outras culturas, concentração do setor econômico e retração de mercado.

Embora o Brasil represente 83% do total da área de ocorrência natural da erva-mate (OLIVEIRA; ROTTA, 1985), o maior produtor mundial com 62% é a Argentina (Figura 2.2 A). A produção brasileira corresponde a apenas 34% do total (DE BERNARDI; PRAT KRICUM, 2001).

Em 2005, o País produziu um total de 238.869 t, sendo o principal produtor o Paraná, com 59% do total nacional (Figura 2.2 B). Neste Estado, os Municípios de São Mateus do Sul, Paula Freitas, Inácio Martins, Cruz Machado, Bituruna e Pinhão contribuíram com 58% da produção estadual e com 34% da produção nacional. São Mateus do Sul, com uma produção de 30.560 t é o município com maior destaque, representando 13% da produção nacional de erva-mate (IBGE, 2005).

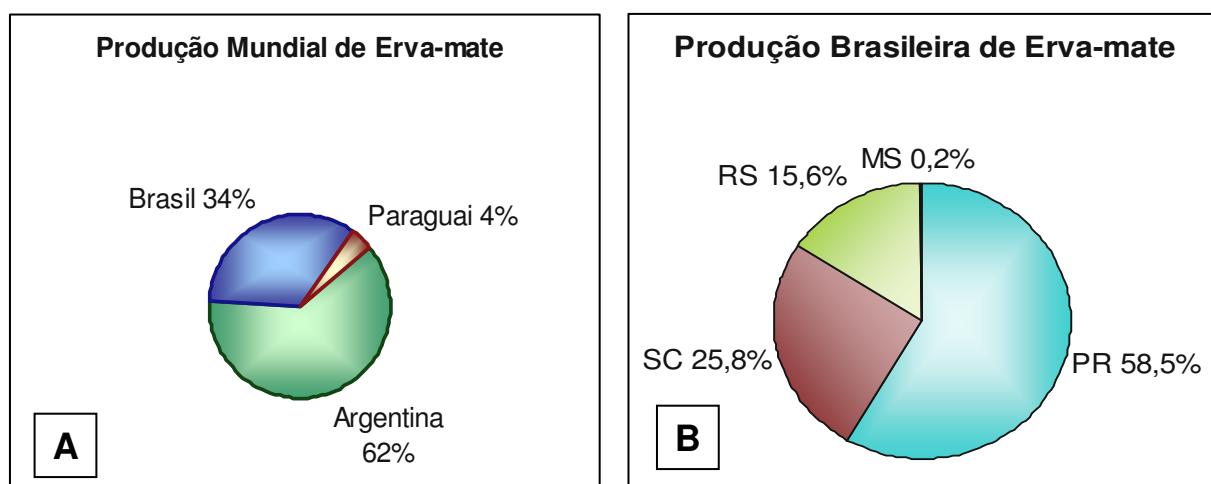


FIGURA 2.2 - (A) DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO MUNDIAL DE ERVA-MATE E (B) DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO BRASILEIRA DE ERVA-MATE
 FONTE: (A) DE BERNARDI E PRAT KRICUM (2001) E (B) IBGE (2005)

Segundo fontes do IBGE (2005), a produção brasileira de erva-mate nos últimos anos vem caindo, sendo que no ano de 2005 foi 9% menor que a de 2004.

Em estudos realizados pela Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento – SEAB, sobre o Valor Bruto da Produção Agropecuária Paranaense – VBP, constatou-se mudanças significativas da participação da silvicultura neste setor entre 1997 e 2004. Enquanto os produtos florestais neste período aumentaram 110% sua participação no VBP, a erva-mate, embora tenha aumentado 8% a produção, em virtude do menor preço recebido pelos produtores, teve participação

negativa de 28%. Mas, se comparada a produção de 336 mil t de 2001 com 264 mil t em 2005 (Figura 2.3), ocorreu uma redução média anual de 5% (ANDRETA, 2006). A redução da produção paranaense de erva-mate nos últimos anos, embora em menor proporção, está coerente com os dados do IBGE (2005).

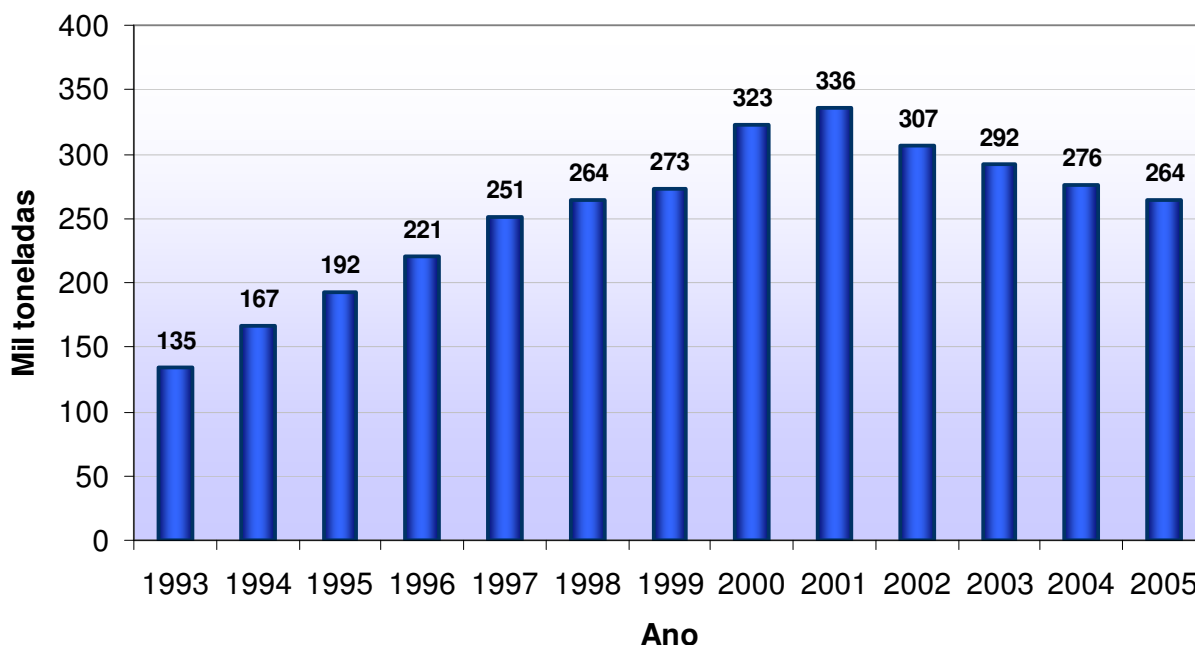


FIGURA 2.3 - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA DE ERVA-MATE NO ESTADO DO PARANÁ, PERÍODO 1993 A 2005
 FONTE: ANDRETA (2006)

2.3 SILVICULTURA

Os jesuítas da Companhia de Jesus do Paraguai no século XVII foram os primeiros a orientar os índios a realizar plantios de erva-mate, sendo então os precursores do cultivo sistemático, da coleta de sementes, produção de mudas e condução de ervaais (BERKAI; BRAGA, 2000).

Desde o início do seu ciclo, o cultivo da erva-mate foi realizado por sistema extrativista e, pela reduzida assistência técnica, a condução dos ervaais era subjetiva, sem planejamento futuro para a cultura (MEDRADO *et al.*, 2002).

A erva-mate pode ser explorada de vários tipos de ervaais, como: nativos (áreas com ervaais nativas), homogêneos (plantio solteiro de erva-mate a pleno sol), consorciados (plantio de erva-mate intercalado com espécies florestais, lavoura

e/ou atividade pecuária), adensados (plantio nas clareiras existentes em áreas nativas de florestas com erva-mate) e em transformação (erval homogêneo sendo diversificado com plantio de espécies florestais (ANDRADE, 2002).

Os espaçamentos tradicionais recomendados para plantios homogêneos, normalmente não ultrapassavam 500 plantas ha⁻¹, porém, atualmente os plantios de alta densidade chegam ultrapassar 3.300 plantas ha⁻¹ (DA CROCE; FLOSS, 1999).

Nos últimos anos, houve um incremento significativo de áreas de ervais plantados em sistema de consórcio, principalmente com culturas anuais de inverno (trigo, aveia e coberturas verdes) e de verão (soja, milho e feijão) (MEDRADO *et al.*, 2000) e, do adensamento (MEDRADO, 2005). Normalmente o adensamento é realizado em áreas já com ocorrência natural de erva-mate. Esta prática, também conhecida como obtenção de plantas de erva-mate em sub-bosque de florestas, pode ser praticada em nossas florestas sem prejuízos às árvores com potencial madeireiro, além de viabilizar o crescimento das plantas já existentes e, proporcionar a germinação do banco de sementes e a formação de densas concentrações de erveiras (DA CROCE; FLOSS, 1999).

A melhor época de colheita da erva-mate, que corresponde a safra é de maio a setembro, concentrando-se nos meses de julho a agosto, pois nesta época as folhas estão maduras e a erva está em repouso fisiológico. Entre os meses de dezembro a fevereiro pode-se realizar a safrinha, mas poucos são os produtores que a praticam, pois geadas precoces ou insolação excessiva matam brotações e ressecam galhos e tronco, prejudicando o erval e, em alguns casos, pode provocar a morte de plantas (MAZUCHOWSKI, 1989). A prática da colheita pode ser realizada com podas anuais, ou com intervalo de 18 meses, sendo uma no inverno e outra no verão (DA CROCE, 1997).

2.4 UTILIZAÇÃO

Há registros do uso da erva-mate como bebida desde 1592, quando os descobridores da América encontraram índios que consumiam erva-mate moída na forma de bebida ou a mastigavam. Os principais produtos da erva-mate são o chimarrão, mate queimado e tererê, oriundos de matéria-prima natural que exige

pouca modificação, e o mate solúvel e refrigerante, que são produzidos a partir de extrato de erva-mate (CARVALHO, 2003).

A principal forma de consumo da erva-mate é o chimarrão, que juntamente com o chá mate absorvem mais de 90% da erva-mate colhida no Brasil (PARANÁ, 1997). Segundo Mazuchowski e Rücker (1997), os componentes químicos presentes nas folhas de erva-mate têm permitido outras aplicações além de chimarrão, até mesmo com usos alternativos em processos industriais (Tabela 2.1).

TABELA 2.1 - APLICAÇÃO INDUSTRIAL, SUB-PRODUTOS COMERCIAIS E FORMA DE CONSUMO DA ERVA-MATE

APLICAÇÃO INDUSTRIAL	SUP-PRODUTO COMERCIAL	FORMA DE CONSUMO
Bebidas	Chimarrão e tererê	
	Chá mate: queimado verde ou cozido	Infusão quente ou fria
	Mate solúvel	
Insumos de alimentos	Refrigerantes e sucos; cerveja; vinho	Extrato de folhas diluído
	Corante natural e conservante alimentar	
	Sorvetes, balas, bombons, chicletes e gomas	Clorofila e óleo essencial
Medicamentos	Estimulante do sistema nervoso central	Extrato de cafeína e teobromina
	Composto para tratamento de hipertensão, bronquite e pneumonia	Extratos de flavonóides
Higiene geral	Bactericida e antioxidante hospitalar e doméstico	
	Esterilizante e emulsificante	Extrato de saponinas e óleo essencial
	Tratamento de esgoto	
	Reciclagem de lixo urbano	
Produtos de uso pessoal	Perfumes, desodorantes, cosméticos e sabonetes	Extrato de folhas seletivo e clorofila

FONTE: MAZUCHOWSKI; RÜCKER (1997).

2.5 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

O valor nutritivo da erva-mate é um aspecto relevante, que deve ser considerado na análise do produto, uma vez que este possui compostos orgânicos e minerais de grande importância nutricional humana (MACCARI JUNIOR, 2005).

A erva-mate pode ser empregada sob o aspecto químico bromatológico ou como matéria-prima de vários subprodutos (BERKAI; BRAGA, 2000). Segundo Valduga (1995), os compostos encontrados na erva-mate são: minerais, polifenóis,

alcalóides, taninos, aminoácidos, vitaminas (C, B1, B2 e A), componentes voláteis, saponinas, clorofila, carotenóides e lipídios.

Os minerais encontrados na matéria seca de erva-mate utilizada para o chimarrão, normalmente apresentam diferentes concentrações. Segundo Henrichs e Malavolta (2001), em amostras comerciais do Paraná os elementos com maior destaque foram Mg e Mn (no tecido foliar) e que a infusão de erva-mate apresenta altas concentrações de K, Mg e Mn, intermediárias de S, Ca e P, baixo de Al e zero de Cd e Pb.

A cafeína e teobromina são alcalóides que, juntamente com a teofilina, estão relacionados e encontrados na erva-mate. São compostos mais interessantes sob o ponto de vista farmacológico e terapêutico e, freqüentemente, são denominados derivados de xantinas (VALDUGA, 1995).

2.6 PROCESSO DE SAPECO E SECAGEM

A tecnologia empregada para processar erva-mate sofreu poucas alterações nos últimos anos se comparada à evolução observada em outros setores agroindustriais. Pouca coisa mudou no caso dos processos, equipamentos e embalagens empregados para esta cultura (MACCARI JUNIOR, 2005).

No processo de industrialização podem ser distinguidas duas fases, de acordo com a resolução nº 485 (INM, 1955). O ciclo do cancheamento é a primeira fase do processo, que inclui o corte da erva, sapeco, secagem, trituração e tamisação ou peneiração. Após passar por estas etapas, a erva-mate obtida é denominada de cancheada. A erva cancheada é a matéria-prima dos engenhos ou moinhos, nos quais é realizada a segunda fase do processo, denominada de beneficiamento. Ao ser beneficiada, a erva-mate cancheada passa novamente por processo da secagem, limpeza, trituração e separação de frações por meio de peneiras.

O sapeco e a secagem são as duas operações mais importantes na elaboração da erva-mate cancheada e até mesmo dos produtos para consumo, se considerados os reflexos sobre sua qualidade e conservação (VALDUGA *et al.*, 2003; MACCARI JUNIOR, 2005)

O processo de sapeco, ainda é empregado com os mesmos princípios praticados pelos indígenas, embora houvesse evolução no que se refere à forma de execução ou equipamentos empregados. O sapeco da erva-mate recém colhida é um pré-processamento que emprega altas temperaturas, pois o produto é exposto diretamente à chama e ao seu calor fazendo um branqueamento térmico das folhas, de forma similar ao empregado em outros produtos vegetais (MACCARI JUNIOR, 2005).

A erva-mate sofre uma redução no teor de umidade durante o sapeco (KÄNZIG, 1996), mas que seria insuficiente para garantir a conservação do produto. É necessário efetuar uma secagem da erva sapecada para reduzir os teores de umidade a valores que garantam estabilidade à erva-mate.

Os sistemas usados na secagem da erva-mate normalmente são classificados em função do tempo de secagem, sendo: secagem em tempos longos (6 a 12 horas – Barbaquá grande), secagem em tempos médios (3 a 6 horas - Esteira) e secagem em tempos curtos (15 min. a 1 hora – Rotativo, transporte pneumático e mistos) (DE BERNARDI; PRAT KRICUM, 2001).

Segundo Maccari Junior (2005), nos secadores de secagem em tempos médios, a erva-mate é depositada sobre esteiras em camadas de 30 a 80 cm de espessura. A esteira se movimenta lentamente, transportando o material através do secador em tempos que oscilam de 3 a 6 horas. Na parte inferior, sobre o piso, estão as saídas de ar aquecido pela queima de madeira (150 a 300 °C) que, se encontra com o ar frio na base do secador, resultando em uma mistura com temperatura de 80 a 130 °C.

2.7 BENEFICIAMENTO

No ciclo do beneficiamento, a erva cancheada passa por novas operações até a obtenção do produto final, a fim de adequar o produto aos padrões de mercado. As principais operações segundo Souza (1947), Valduga (1995), Valduga *et al.* (2003) e Maccari (2005), seriam: secagem (uma nova secagem para retificação da umidade); separação (a erva é separada por meio de peneiras, ventiladores, filtros e coletores de pó, talos e paus); mistura (as frações são misturadas na proporção correta para compor os tipos comerciais) e, ao final, é enviada para o setor de embalagem.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MEIO FÍSICO

3.1.1 Localização

O experimento foi conduzido de janeiro de 2006 a agosto de 2007 na propriedade do Sr. Miguel Kuczera no Município de São Mateus do Sul – PR, localizado no segundo planalto paranaense, entre a longitude de 50° 22' 58" Oeste e latitude de 25° 52' 27" Sul. Segundo o sistema de classificação de Köppen, o clima da região caracteriza-se como temperado (Cfb) (IAPAR, 1994). Na região o relevo é ondulado a fortemente ondulado, com altitude variando de 800 m próximo aos grandes rios, até 1.000 m nos pontos mais elevados (CASTELLA; BRITTEZ, 2004).

3.1.2 Solo

Os principais tipos de solos que ocorrem são o LATOSSOLO AMARELO, PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO, CAMBISOLOS e, nas margens dos rios os HIDROMÓRFICOS GLEYZADOS Indiscriminados (CASTELLA; BRITTEZ, 2004), sendo que no local do experimento (Anexos 1, Figura 1 B) ocorre CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico (EMBRAPA, 2006)¹ A amostra de solo da área experimental foi retirada antes da implantação, na camada de 0-20 cm (Tabela 3.1).

TABELA 3.1 - DADOS DA ANÁLISE QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, SÃO MATEUS DO SUL-PR

pH	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	SB	T	K ⁺	P	MO	V	m	SI ¹	AR ²
CaCl ₂	SMPcmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³	%.....				
3,7	4,1	19,9	7,2	0,47	0,27	0,89	20,8	60,0	4,5	5,9	4	89	45 49

¹ Silte e ² argila.

3.1.3 Vegetação

A vegetação da região se caracteriza pela Floresta Ombrófila Mista ou Mata de Araucária (CASTELLA; BRITTEZ, 2004). No local do experimento, a vegetação era composta por dois estratos arbóreos: a) no estrato superior ocorre o predomínio da

¹ Comunicação pessoal: Ms. Reinaldo Pötter, SNCS/EMBRAPA

araucária (*Araucaria angustifolia*), bracatinga (*Mimosa scabrela*), imbuia (*Ocotea porosa*), já com menor presença aparecem várias espécies de canelas (*Ocotea* sp. e *Nectandra* sp.), além de outras espécies; b) no estrato inferior ocorre o predomínio da erva-mate (*Ilex paraguairiensis*) que é a espécie de estudo.

3.1.4 Levantamento das espécies

Efetuuou-se a contagem do número de árvores de cada espécie que ocorriam dentro de cada parcela (Tabela 3.2). A erva-mate foi subdividida em nativa e plantada, sendo, as nativas contadas todas as árvores que se apresentavam distribuídas aleatoriamente na parcela e, normalmente com porte arbóreo maior. Para as plantadas contaram-se as árvores que estavam em linha e, com distribuição e porte homogêneo na parcela. Com exceção da erva-mate, as demais espécies mediu-se com fita métrica a circunferência na altura do peito (CAP) de todas as árvores (Anexos 1, Figura 1 C).

TABELA 3.2 - NOME COMUM, NOME CIENTÍFICO, NÚMERO MÉDIO DE ERVA-MATE E DE OUTRAS ESPÉCIES QUE OCORREM NA ÁREA DO EXPERIMENTO E ÁREA BASAL, SÃO MATEUS DO SUL – PR

NOME COMUM	NOME CIENTÍFICO	PLANTAS ha ⁻¹	ÁREA BASAL m ² ha ⁻¹
Erva-mate ¹	<i>Ilex paraguariensis</i> St. Hil.	1.284	-----
Erva-mate ²		1.874	-----
Araucária	<i>Araucária angustifolia</i> (Bert.) O. Kuntze	156	9,867
Bracatinga	<i>Mimosa scabrela</i> Benth.	38	0,528
Imbuia	<i>Ocotea porosa</i> (Nees et Mart. Ex Ns) L. Br.	26	2,648
Canela	<i>Ocotea</i> sp. e <i>Nectandra</i> sp.	16	2,741
Bergamoteira	<i>Citrus reticulata</i>	2	0,046
Vasourão branco	<i>Piptocarpha angustifolia</i> Dus.	1	0,119
Cedro	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	1	0,232
Cambará	<i>Gocnatia polimorpha</i> (Less.) Cabr.	1	0,518

¹ Plantas nativas de ocorrência natural presentes no local antes da intervenção do manejo da floresta e ² plantas com sete anos de idade, introduzidas nos espaços gerados com o manejo da floresta.

3.1.5 Histórico e situação da área

O histórico do manejo da área obtido junto ao produtor indica que a área experimental nunca havia sido fertilizada e nem realizado calagem. Sendo que para melhor caracterizar a área, além do levantamento das espécies arbóreas e análise

química do solo, analisaram-se quimicamente as folhas de erva-mate na instalação do experimento (Anexos 1, Tabelas 1 e 2).

Há dez anos antes da implantação do experimento, o local do estudo passou por um processo de manejo, onde foram retiradas quantidades significativas das maiores árvores, principalmente de araucárias, imbuías e canelas. No local já havia um grande número de árvores nativas de erva-mate, normalmente distribuídas em aglomerados mais densos em alguns pontos, e árvores mais esparsas na maior parte da área. A distribuição das espécies na área do experimento ocorre de forma heterogênea, sendo que nos blocos 1 a 5 predominam araucárias e nos blocos 6 a 10, além da araucária, ocorre maior presença de imbuia, canela e bracatinga. Após o manejo, os espaços antes ocupados pelas árvores retiradas, foram preenchidos com novas plantas de erva-mate, dando origem a um erval nativo adensado (Figura 3.1).



FIGURA 3.1 - VISTA GERAL DA ÁREA DO EXPERIMENTO

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

3.2.1 Delineamento e estatística do experimento

O delineamento experimental foi em Blocos Completos ao Acaso (DBA), mono fatorial e, devido cada tratamento ser composto por uma adubação que varia de forma proporcional, os tratamentos tiveram caráter quantitativo (STORCK *et al.*, 2000).

O experimento foi conduzido em 10 blocos, sendo que cada bloco conteve quatro tratamentos distribuídos por sorteio em parcelas de 15 x 15 m (225 m²) e, cada parcela separada por uma faixa de 5 m de bordadura (Figura 3.2). Para a avaliação do teor de minerais, cafeína e teobromina, efetuou-se a amostras de uma planta por parcela. Já para a produtividade foi efetuada com todas as plantas de cada parcela.

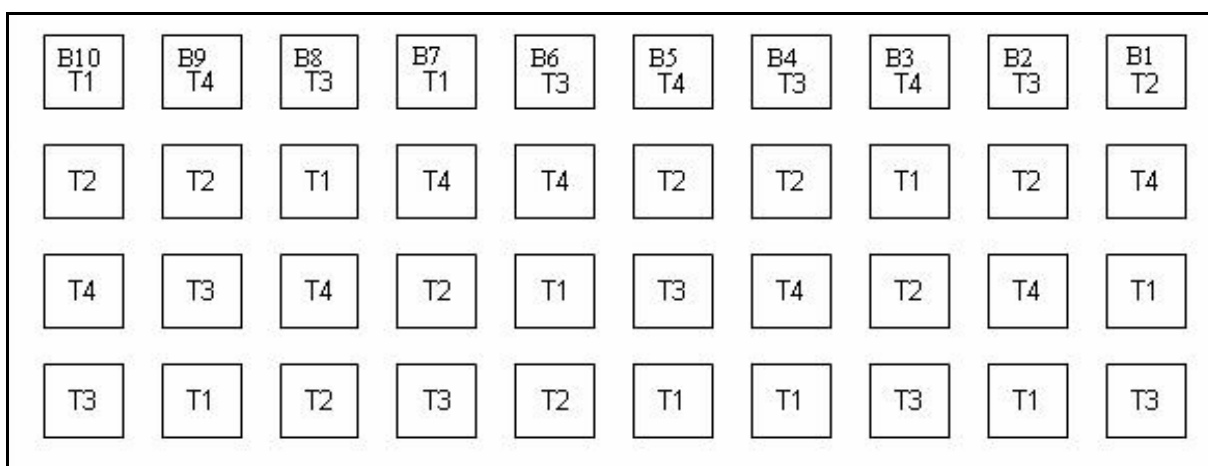


FIGURA 3.2 - CROQUI DA ÁREA DO EXPERIMENTO COM 10 BLOCOS (B), SENDO CADA BLOCO COMPOSTO POR 4 PARCELAS DE 15 X 15 m, SEPARADAS POR 5 m DE BORDADURA

Ao final do experimento com o uso do software estatístico SOC (1990) os dados foram submetidos à análise da variância, sendo que a produtividade média entre colheitas e a comparação de extração de minerais pelo método total e aquoso submetidos ao Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. As demais variáveis foram analisadas por regressão a 5% de probabilidade de erro.

3.2.2 Tratamentos

Foram testadas diferentes doses da combinação de NPK, distribuídas em quatro tratamentos (Tabela 3.3). Para a formulação dos tratamentos, tomou-se por base a recomendação da Sociedade Brasileira de Ciência Do Solo (2004) (SBCS) para a cultura da erva-mate, com expectativa de rendimento maior que 12 t ha⁻¹ de massa verde. A fonte dos elementos testados foi a base de uréia (45% de N), superfosfato triplo (41% de P₂O₅) e cloreto de potássio (60% de K₂O), sendo T1: testemunha sem adubação; T2: 50% da dose recomendada, T3: 100% da dose recomendada e T4: 150% da dose recomendada.

TABELA 3.3 - TRATAMENTOS DE FERTILIZAÇÃO COMPOSTOS POR DIFERENTES DOSES DE NPK EM ERVAL ADENSADO, SÃO MATEUS DO SUL – PR

TRATAMENTO	RECOMENDAÇÃO*	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	--- % ---	-----	kg ha ⁻¹ -----	-----
T1	0	0	0	0
T2	50	25	10	40
T3	100	50	20	80
T4	150	75	30	120

* Recomendação de adubação para a cultura da erva-mate para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul conforme a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004) para as condições de fertilidade do solo do experimento.

Em virtude dos níveis de Ca e Mg estarem baixos, em junho do mesmo ano aplicou-se 1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico em toda a área. Todas as aplicações foram realizadas a lanço na superfície sem incorporação.

A estiagem que atingiu o Paraná, principalmente no período de outubro de 2005 a abril de 2006, que reduziu 19,1% a produção de grãos neste Estado (MANFIO, 2008), também dificultou a aplicação da fertilização do experimento.

A idéia inicial de aplicar parte da fertilização logo após a colheita inicial (janeiro de 2006) da erva-mate, em função das circunstâncias climáticas foi retardada. A aplicação dos tratamentos foi realizada em duas etapas, 50% de cada dose em agosto e 50% em novembro, ambas em 2006.

3.3 COLHEITA E PROCESSAMENTO DA ERVA-MATE

3.3.1 Colheita

A colheita da erva-mate foi realizada em toda a área de cada parcela. Para a poda utilizou-se tesoura e serra de poda (Anexos 1, Figura 1 D). Após a poda, a erva foi picada com facão sobre panos (Anexos 1, Figura 2 A), deixando-a com aproximadamente 40 cm de comprimento os ramos em torno de 5 mm. A erva-mate foi pesada com balança de vara (Anexos 1, Figura 2 B) com precisão de 100 g. Este processo foi efetuado em janeiro de 2006 e julho de 2007.

3.3.2 Processamento

O processamento da erva-mate foi realizado na Indústria do Sr. Adão B. Staniszewski, onde consistiu no sapeco, secagem e cancheagem da erva-mate. Inicialmente a esteira alimentadora do sapecador foi limpa para que recebesse a erva-mate dos tratamentos. Na esteira foi mantido um espaço de 1 m entre cada tratamento para que, durante o sapeco, secagem e cancheamento se garantissem a individualidade de cada tratamento. Ao final, a erva-mate cancheada (Anexo 1, Figura 2 C) de cada tratamento foi pesada e embalada separadamente em sacos de 50 kg.

Na necessidade de se adequar aos equipamentos de escala industrial, o processamento da erva-mate foi realizado por tratamento, sem considerar as repetições, impossibilitando a análise estatística para a variável umidade da biomassa de erva-mate colhida. Este parâmetro faz uma relação entre peso verde (PV) e peso seco (PS) de erva-mate.

3.4 COLETA DE MATERIAL PARA ANÁLISE

3.4.1 Coleta da biomassa aérea

Foram coletados ramos com brotação do ano no estrato médio da copa, sendo uma amostra para cada unidade experimental (Anexos 1, Figura 2 D),

conforme Reissmann, Almeida e Serrat (2006). Como as unidades experimentais foram compostas de plantas de erva-mate nativa (mais velhas e maiores) e plantadas (mais jovens e menores), o critério de seleção da erva-mate para a coleta do material de análise foi a melhor árvore de erva-mate plantada. A erva-mate selecionada foi devidamente identificada, para que as duas coletas (janeiro de 2006 e agosto de 2007) fossem realizadas na mesma árvore.

3.4.2 Coleta do solo

Coletou-se na instalação do experimento uma amostra de solo, representativa de toda a área do experimento. No final do experimento realizou-se análise de solo para cada tratamento (Anexo 1, Tabela 1). Para isto, cada amostra foi composta por 10 subamostras, coletadas na projeção da copa de cada árvore selecionada (CANTARUTTI *et al.*, 2007) de cada parcela de 0 a 20 cm de profundidade (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004).

3.5 ANÁLISES

3.5.1 Química e física do solo

As análises químicas e físicas foram realizadas no Laboratório de Fertilidade e de Física do Solo da Universidade Federal do Paraná, seguindo a metodologia proposta por Embrapa (1997).

3.5.2 Folhas

A análise química foliar dos elementos minerais foi realizada no Laboratório de Biogeoquímica e Nutrição de Plantas do Departamento de Solos. A determinação da cafeína e teobromina no Laboratório de Química Analítica Aplicada do Departamento de Engenharia Química – Setor de Tecnologia, ambos da Universidade Federal do Paraná. O processo de preparo das amostras consentiu na lavagem de 100 folhas de cada planta selecionada com água desionizada e secadas

em estufa à temperatura de 60 °C até peso constante. Após, as folhas foram pesadas e moídas em moinho tipo Willey deixando a amostra com partículas menor ou igual a 0,5 mm e acondicionadas em frascos limpos devidamente tampados e identificados.

3.5.3 Digestão via seca e solubilização com HCl 3 mol L⁻¹

A análise química mineral total de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Al e Na foi efetuada após incineração em mufla à 500 °C com posterior solubilização em HCl 3 mol L⁻¹. O P foi determinado por colorimetria com vanadato-molibdato de amônio (cor amarela) e leitura em espectrofotômetro UV/VIS. A determinação de K e Na foi realizada por fotometria de emissão e Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn e Al, por espectroscopia de absorção atômica por chama (MARTINS; REISSMANN, 2007).

Para análise de N-total utilizou-se a digestão com ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado e catalizadores (1 sulfato de potássio – K₂SO₄: 4 sulfato de cobre - CuSO₄) a partir de Bremner (1996). A determinação do nitrogênio foi realizada após a destilação com hidróxido de sódio 32%, a fração destilada foi recebida em ácido sulfúrico 0,02 mol L⁻¹ e foi titulado com NaOH 0,02 mol L⁻¹.

3.5.4 Hidrossolúveis

A extração aquosa foi realizada usando a proporção de 100 ml de água desionizada para 1 g de material foliar (1:100) com posterior filtragem do extrato em papel de filtro faixa azul 389³. A água desionizada adicionada já em estado aquecido (75 a 80 °C) no balão que continha a amostra e mantida sob aquecimento em chapa quente durante 5 minutos. Após este período filtrou-se o extrato ainda quente em balão volumétrico de 250 ml, adaptado de Reissmann, Radomski e Quadros (1994). Ao atingir a temperatura ambiente, pipetou-se 25 ml de cada amostra em cadinho de porcelana e deixados em chapa aquecida a temperatura de 40 °C até evaporar todo o líquido. Foi determinado o teor de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Al e Na pela mesma metodologia descrita anteriormente (MARTINS; REISSMANN, 2007).

3.5.5 Cafeína e teobromina

a) Extração

Amostras de 2 g de erva-mate foram acondicionadas em Becker (100 ml), e adicionados 04 ml de ácido sulfúrico, homogeneizados e mantidos em banho-maria por 15 minutos. Posteriormente adicionou-se 50 ml de água quente, mantendo-se em banho-maria por 15 minutos e subsequente filtração em papel filtro qualitativo recebendo o filtrado em Becker de 250 ml. Após resfriamento até a temperatura ambiente os extratos foram neutralizados com hidróxido de sódio a 40%, transferidos para um balão volumétrico de 250 ml e o volume completado com água destilada (BRASIL, 2005).

b) Condições cromatográficas

A análise dos extratos foi realizada por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE). Foi empregado um cromatógrafo a líquido marca Shimadzu, controlado pelo Software Class-VP, equipado com injetor manual Rheodyne, com volume de injeção de 20 μ L, bomba (LC-10AD) e detector UV-Vis (SPD-10A) operando em 272 nm e 254 nm. A análise foi conduzida utilizando-se uma coluna Nova Pak[®] C-18 (3,9 X 150 mm, 4 μ m) da Waters.

A condição cromatográfica baseou-se em Mazzafera (1997), que utilizou-se como fase móvel metanol-água (15:85, v/v), e um fluxo de 1,0 mL min⁻¹. A quantificação dos extratos das amostras foi realizada por padronização externa. A determinação de cada amostra conduziu-se em duplicata.

Os padrões de cafeína e teobromina foram adquiridos da Sigma[®] e as soluções estoques dos padrões preparados por dissolução de cada um em água purificada em Mili-Q. As curvas analíticas construídas pela injeção em triplicata de soluções padrões de trabalho em seis concentrações diferentes, baseadas nas faixas esperadas dos seus teores nas amostras de erva-mate.

5.6 CÁLCULOS

5.6.1 Produtividade da erva-mate comercial

O valor de incremento da erva-mate verde para cada tratamento foi gerado a partir da diferença entre as colheitas de 2007 e 2006.

A umidade da biomassa de erva-mate resultou da divisão entre o peso verde (PV) e peso seco (PS) de erva-mate (relação PV/PS), efetuado por tratamento sem considerar as repetições (valores absolutos).

O peso seco de cem folhas foi realizado a partir do material vegetal utilizado para análise nutricional da erva-mate (uma planta por parcela), pesado após seco com balança de precisão (0,0000 g).

5.6.2 Exportação de macronutrientes

O cálculo da exportação foi realizado para N, P, K, Ca e Mg. A exportação destes pelas colheitas das folhas referentes ao teor foliar de cada tratamento da colheita de 2007. Para isto, coletaram-se amostras de erva-mate cancheada de cada tratamento. Separaram-se as amostras manualmente em duas frações (folhas e palitos) e após pesados, utilizou-se a seguinte fórmula: $\left(\left[\frac{PV}{PV + PS} \right] - pa \right) \times teor$.

Sendo que, *PV*: peso da erva-mate verde; *PS*: peso da erva-mate seca; *pa*: peso de palito seco e *teor*: teor foliar do elemento desejado.

Para os cálculos de estimativa da exportação de nutrientes de talos e galhos utilizaram-se os dados do trabalho de Campos (1991) desenvolvido em um erval de 9 anos em Teixeira Soares, PR. Sendo que no mesmo, do total de matéria seca colhida, 40% eram folhas, 18% talos (galhos finos que vão junto com as folhas para a indústria) e 42% galhos (galhos mais grossos que sobram da colheita a campo). Os teores de N, P, K, Ca e Mg foram respectivamente para talos de 11,8; 1,0; 11,3; 9,9 e 3,6 g kg⁻¹ e para galhos de 7,8; 0,7; 4,4; 3,8 e 1,4 g kg⁻¹.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. M. de. **Diagnóstico da cadeia produtiva da *Ilex paraguariensis* St. Hill, erva-mate.** São Mateus do Sul: Fundo Brasileiro para a Biodiversidade/FUNBIO, 1999.
- ANDRADE, F. M. Exploração, manejo e potencial socioeconômico da erva-mate. In: SIMÕES, L. P.; LINO, C. F. (Org.). **Sustentável mata atlântica: a exploração de seus recursos florestais.** 2. ed. São Paulo: Editora SENAC, 2002. p. 19-34.
- ANDRETTA, G. M. A. C. **Valor bruto da produção agropecuária paranaense 1997 e 2004.** Curitiba: SEAB/DERAL/DEB, 2006.
- BERKAI, D; BRAGA, C. A. **500 anos de história da erva-mate.** Porto Alegre, Atlas 2000.
- BORILLE, A. M. W. **Relação entre compostos fitoquímicos e o nitrogênio em morfotipos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.).** 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos físico-químicos para análise.** Instituto Adolfo Lutz. 5 ed. Brasília, 2005. p. 347-375.
- BREMNER, J.M. Nitrogen total. In: SPARKS, D.L., ed. **Methods of soil analysis.** Part 3. Madison: America Society of Agronomy, 1996. p.1085-1121 (SSSA Book Series, 5).
- CAMPOS, M. A. A. **Balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*. Avaliação na safra e na safrinha.** 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.
- CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 769-850.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras:** recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: EMBRAPA Florestas/CNPQ, 1994. p. 281-287.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Colombo: Embrapa Florestas, V. 1, 2003. 1039p.
- CASTELLA, P. R.; BRITEZ, R. M. DE. **A floresta com araucária no Paraná:** projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira – PROBIO. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.

DA CROCE, D. M. Cadeias produtivas do Estado de Santa Catarina: erva-mate. Florianópolis: Epagri, 2000. (**Boletim técnico**, 112).

DA CROCE, D. M. Poda de erva-mate: novos métodos desenvolvidos pela EPAGRI. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1997. p. 351-357.

DA CROCE, D. M.; FLOSS, P. A. Cultura da erva-mate no Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 1999. (**Boletim Técnico**, 100).

DE BERNARDI, L. A.; PRAT KRICUN, S. D. **Cadena alimentaria de “yerba mate” “Ilex paraguariensis”**: diagnóstico de la región yerbatera. Buenos Aires: Secretaría De Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, 2001. 71p.

DESER - Departamento de Estudos Sócio-Econômicos Rurais. A Cadeia Produtiva da Erva-Mate. **Informativo de Conjuntura Agrícola e Comercialização do Alto Uruguai**. Curitiba, n. 3, 2001. 13p.

EDWIN, G.; REITZ, R. **Aquifoliáceas**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1967.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos: EMBRAPA, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FONTANA, H. P.; PRAT KRICUN, S. D.; BELINGHERI, L. D. Estudos sobre la germinacion y conservacion de semillas de yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Cerro Azul: Inta. Estação experimental de Cerro Azul, 1990. (**Informe Técnico**, 52).

GAZETA GRUPO DE COMUNICAÇÕES. **Anuário Brasileiro da Erva-mate 1999**. Santa Cruz do Sul-RS. Ed. Pallotti, 1999. 64p.

HEINRICHS, R.; MALAVOLTA, E. Composição mineral do produto comercial da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 5, p. 781-785, 2001.

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina, 1994, 49p. (Documento 18)

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 20, p. 1-50, 2005.

INM – INSTITUTO NACIONAL DO MATE. Resolução nº 485, de 25 de outubro de 1955. In: WERNECK, R. M. R. **Legislação ervateira**. Companhia Brasileira de Artes Gráficas, 1962. p. 219-233.

KÄNZIG, R. G. Transformación primaria. In: YERBA MATE: CURSO DE CAPACITACIÓN EN PRODUCCIÓN, 3., 1996, Misiones. **Resúmenes...** Cerro Azul: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1996. p.129-139.

LOMBARDO, A. **Flora arbórea y arborescente del Uruguay**. Montevideo: Concejo Departamental de Montevideo, 1964.

LOPEZ, J. A.; LITTLE JUNIOR, E. L.; RITZ, G. F.; ROMBOLD, J. S.; HAHN, W. J. **Arboles comunes del Paraguay**: ñande yvyra mata kuera. Washington: Cuerpo de Paz, 1987. 425 p.

MACCARI JUNIOR, A. **Análise do pré-processamento da erva-mate para chimarrão**. 215 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MACCARI JUNIOR, A.; QUEIROZ, M. R. de; RONCATO-MACARI, L. D. B.; RUCKER, N. G. A. Indústria ervateira no estado do Paraná: fornecimento de matéria prima. In: ROCHA Jr. W. F. da; MILOCA, L. M. (Ed.). **Sistema agroindustrial ervateiro: perspectivas e debates**. Cascavel: Coluna do Saber, 2007. p. 145-156.

MANFIO, D. A. **Safra Paranaense 2005/2006**. Curitiba: SEAB/DERAL, 2008. 72 p.

MARCHESE, J. A.; FIGUEIRA, G. M. O uso de tecnologias pré e pós-colheita e boas práticas agrícolas na produção de plantas medicinais e aromáticas. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 7, n. 3, p. 86-96, 2005.

MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 1-17, 2007.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Manual da erva-mate**. Curitiba: EMATER, 1989. 104 p.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; RUCKER, N. G. A. **Erva-mate: prospecção tecnológica da cadeia produtiva**. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Departamento de Economia Rural, 1997. 27 p.

MAZZAFERA, P. Maté drinking: caffeine and phenolic acid intake. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 60, n. 1, p. 67-71, 1997.

MEDRADO, M. J. S. **Cultivo da erva-mate**: sistemas de produção. Colombo: Embrapa/CNPQ, 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Erva-mate>>. Acesso em: 02/11/2007.

MEDRADO, M. J. S.; DALZOTO, D. N.; OLIZESKI, A.; MOSELE, S. H. **Recuperação de ervais degradados**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 6 p. (Comunicado Técnico, 86).

MEDRADO, M. J. S.; LOURENÇO, R. S.; MOSELE, S. H.; WACZUK, A. J. **Sistemas de poda de formação e produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), no município de Áurea, RS.** Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 3 p. (Comunicado Técnico, 38).

OLIVEIRA, Y. M. M.; ROTTA, E. Área de distribuição natural da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS. Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). 1983, Curitiba: EMBRAPA/CNPQ, 1985, p. 17-36.

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. **Erva-mate: prospecção tecnológica da cadeia produtiva.** Curitiba: SEAB, 1997. 121 p.

REISSMANN, C. B.; ALMEIDA, L. S. de; SERRAT, B. M. Amostragem para análise de plantas de importância agrícola e florestal. In: LIMA, M. R. de; SIRTOLI, A. E. *et al.* (Ed.). **Diagnóstico e recomendação de manejo de solo:** aspectos teóricos e metodológicos. Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias, 2006. p. 87-97.

REISSMANN, C. B.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. de. Relação entre os teores e a fração hidrossolúvel dos elementos K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn e Al em folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 37, n. 4, p. 959-971, 1994.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIENCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

STORCK, L.; GARCIA, D. C.; LOPES, S. J.; ESTEFANEL, V. **Experimentação vegetal.** Santa Maria: UFSM, 2000. 198 p.

SOC. **Software Científico.** Núcleo Tecnológico para Informática: EMBRAPA, Campinas, São Paulo, SP, 1990.

VALDUGA, A. T.; FINZER, J. R. D.; MOSELE, S. H. **Processamento de erva-mate.** Erechim: Fapes, 2003.

VALDUGA, E. **Caracterização química e anatômica da folha de *Ilex paraguariensis* Saint Hilaire e de algumas espécies utilizadas na adulteração do produto.** 97 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Química) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

ANEXOS 01



FIGURA 1 - (A) MATRIZ DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) COM MAIS DE 100 ANOS DE IDADE (INFORMAÇÃO DO PROPRIETÁRIO), LOCALIZADA NO DISTRITO DE ITAPUCA, MUNICÍPIO DE ANTA GORDA – RS; (B) PERFIL DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO DE 0 A 1,20 m DE PROFUNDIDADE; (C) MENSURAÇÃO DA CIRCUNFERÊNCIA A ALTURA DO PEITO DAS ESPÉCIES ARBÓREAS E (D) PODA DA ERVA-MATE DURANTE A COLHEITA



FIGURA 2 - (A) ERVA-MATE SENDO PICADA COM FACÃO; (B) PESAGEM DA ERVA-MATE VERDE A CAMPO; (C) ASPECTO DA ERVA-MATE CANCHADA E (D) COLETA DE BROTO DO ANO A MEIA ALTURA DA COPA DA ERVEIRA PARA ANÁLISE

TABELA 1 - CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE NUTRICIONAL INICIAL PARA OS MACRONUTRIENTES N, P, K, Ca E Mg ENCONTRADOS EM FOLHAS DE ERVA-MATE, PARA A COLHEITA DE 2006

FATOR DE VARIÇÃO	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		N	P	K	Ca	Mg
		----- mg kg ⁻¹ -----				
BLOCO	9	13,1977 ^{ns}	0,0214 ^{ns}	6,8390 ^{ns}	3,2575 ^{ns}	0,9011*
PARCELA	3	39,9317*	0,0251 ^{ns}	13,6057 ^{ns}	4,8322*	1,8502**
ERRO	27	11,0824	0,0154	4,7823	1,5995	0,2913
MÉDIA	---	26,7	1,1	21,7	4,9	2,8
CV%	---	12,5	11,2	10,1	25,7	19,3

* e ** F significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} F não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 2 - CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE NUTRICIONAL INICIAL PARA OS MICRONUTRIENTES Fe, Mn, Cu E Zn E PARA OS ELEMENTOS Al E Na ENCONTRADOS EM FOLHAS DE ERVA-MATE, PARA A COLHEITA DE 2006

ENCONTRADOS EM CÉLULAS DE ENXOFRE, PARA A COLHEITA DE 2009								
FATOR DE VARIACÃO	GL	QUADRADOS MÉDIOS						
		Fe	Mn	Cu	Zn	Al	Na	
----- mg kg ⁻¹ -----								
BLOCO	9	123,6584 ^{ns}	212160,9634 ^{ns}	23,8146 ^{**}	105,0212 ^{ns}	586,6428 ^{ns}	4001,4569 ^{ns}	
PARCELA	3	375,5356 ^{**}	357844,1089 [*]	6,0277 ^{ns}	463,8082 ^{**}	1972,2682 ^{ns}	1000,3629 ^{ns}	
ERRO	27	70,4450	95531,3280	4,3680	58,4821	787,5981	1923,3240	
MÉDIA	---	34,8	1.167,8	16,8	31,8	161,4	185,0	
CV%	---	24,1	26,5	6,0	24,0	17,4	23,7	

* e ** F significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} F não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

4 PRODUTIVIDADE E TEOR DE MINERAIS NA ERVA-MATE

4.1 INTRODUÇÃO

Em qualquer colheita, seja florestal ou agrícola, o resultado final normalmente é a produção expressiva de madeira, folhas ou grãos. Esta prática é responsável por grande saída de nutrientes do sistema de origem da produção, sendo o empobrecimento do sítio relacionado à intensidade das colheitas, componente da cultura a ser colhido e quantidade de nutrientes que é retirada junto com o produto da colheita. Segundo Reissmann *et al.* (1985), na agricultura utiliza-se a prática de calagem e adubação para manutenção e aumento da produção. Porém, no setor florestal, as práticas silviculturais ainda dão pouca ênfase na reposição de nutrientes exportados através das colheitas.

Com o intuito da sobrevivência, as espécies animais ou vegetais, desenvolvem mecanismos de adaptação. Assim com o tempo, após milhares de anos aquele local passa a ser o ideal ao seu desenvolvimento e propagação. Desta forma, cada vegetal possui exigência nutricional específica, que ao adotarem-se práticas de nutrição, seja ela química ou orgânica, deve-se conhecê-la.

As atuais bases de manejo silviculturais da erva-mate utilizam técnicas que desconsideram a sustentabilidade da produção, herdadas de práticas adotadas desde os primórdios de sua exploração (FOSSATI, 1997). A visão extrativista, predominante desde o início do ciclo da erva-mate desencadeou uma instabilidade econômica para a cultura gerando uma escassez nos conhecimentos necessários para a sua produção, permitindo que grande parte dos ervais nativos fossem erradicados juntamente com as florestas, dando lugar às lavouras.

Sendo que, do total da produção brasileira de erva-mate o Paraná representa mais de 50% (IBGE, 2005), até o momento não há nenhuma recomendação de adubação para a cultura da erva-mate para este Estado. Isto mostra o descaso, dos órgãos responsáveis por pesquisas nesta área, com todas as pessoas que estão envolvidas e, dependem de alguma forma da cadeia produtiva da erva-mate. Evidenciando desta forma, a necessidade de pesquisas que visem à nutrição de ervais manejados no ambiente em conjunto com outras espécies presentes, para

que isto possa auxiliar na tomada de decisão quanto à fertilização em ervais adensados.

4.2 REVISÃO DE LITERATURA

4.2.1 Importância da nutrição para as plantas

Do ponto de vista nutricional, uma espécie/genótipo superior é aquela capaz de desenvolver e ter uma boa produção em condições desfavoráveis de fertilidade do solo, tendo habilidade de absorver os nutrientes necessários, em menor quantidade, e/ou, distribuí-los de uma maneira mais eficiente nos diversos componentes da planta, sem comprometer a produtividade (FURLANI *et al.*, 1984).

Considerando o solo como uma fonte de nutrientes para as plantas, os minerais cátions que ficam adsorvidos na superfície da argila e da matéria orgânica normalmente estão prontamente disponíveis para as plantas. Desta forma mantêm-se um equilíbrio dinâmico com os cátions presentes na solução do solo. Assim, à medida que esses minerais são absorvidos pelas plantas são repostos para a solução por aqueles que estão adsorvidos na fase sólida do solo (MEURER, 2007). Porém, práticas de fertilização inadequadas podem provocar o desequilíbrio entre os minerais do solo. O excesso de um mineral pode afetar a disponibilidade de outro para as plantas (BÜLL; VILLAS BÔAS; NAKAGAWA, 1998).

A presença de um elemento com alta concentração em uma planta não é um indicador seguro de sua essencialidade, já que as plantas apresentam capacidade de absorção seletiva limitada (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). Cada nutriente tem uma função específica no metabolismo da planta. Desta forma, a disponibilidade e absorção dos nutrientes em quantidades adequadas são de grande importância. O desequilíbrio em suas proporções pode provocar deficiência ou excesso de nutrientes, causando limitações ao crescimento das plantas ou mesmo sua morte (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

De acordo com Floss (2006), o conhecimento relacionado à nutrição das plantas somente promoverá o desenvolvimento quando aplicado adequadamente pelos produtores. Para isto, deve-se entender as necessidades nutricionais de cada estágio de crescimento das plantas, a fim de maximizar a produção.

4.2.2 Teor e exportação de nutrientes

Em princípio, a absorção de nutrientes de espécies florestais é da mesma ordem da apresentada pelas culturas agrícolas (CALDEIRA *et al.*, 2000), sendo que esta pode ser influenciada por condições edafoclimáticas, pela espécie e pela cobertura do dossel (PRITCHETT, 1990).

Quando se realizam colheitas, sejam agrícolas ou florestais, ocorrerá saída de nutrientes do local da produção. Segundo Reis e Barros (1990), a contínua exportação de nutrientes através da colheita reduz a capacidade produtiva do sítio e pode desestabilizar o ecossistema, comprometendo a produtividade dos futuros ciclos da cultura.

A maior concentração de nutrientes no sistema de uma árvore está localizada nas folhas, galhos finos e casca, (CALDEIRA *et al.*, 2002). Consequentemente quando a exploração é apenas do fuste, o empobrecimento do sítio é baixo (REISSMANN *et al.*, 1985; WISNIEWSKI *et al.*, 1999).

Ao se tratar da prática da colheita de erva-mate, onde o produto retirado do erval é constituído por folhas, galhos finos, botões florais e sementes, o volume de nutrientes exportados é significativamente elevado (REISSMANN *et al.*, 1985). Os teores médios de nutrientes encontrados no tecido vegetal da erva-mate normalmente são variáveis, mas relevantes (Tabelas 4.1 e 4.2).

A concentração de nutrientes nos componentes arbóreos pode variar em função da espécie, das práticas de manejo e com a idade da floresta (SCHUMACHER, 1998). Segundo Reissmann *et al.* (1985), na cultura da erva-mate a concentração de nutrientes pode apresentar variação ao longo do ano, com maior pico no mês de outubro, especialmente para N, P e K.

TABELA 4.1 - TEORES DE N, P, K, Ca E Mg NORMALMENTE ENCONTRADOS NA ERVA-MATE

COMPARTIMENTO	ELEMENTOS (g kg ⁻¹)					FONTE
	N	P	K	Ca	Mg	
Folhas	18,5	1,1	16,2	6,8	4,0	Reissmann, Rocha e Koehler (1983).
Galhos	15,2	0,8	9,9	11,4	4,4	
	11,1	0,8	13,4	10,4	2,8	Reissmann <i>et al.</i> (1985).
	20,6	1,4	17,2	5,2	3,8	
Folhas	23,1	1,1	12,8	6,5	5,5	Campos (1991).
Galhos	6,0	0,6	5,4	2,8	1,2	
Folhas	27,1	1,9	20,8	4,9	4,3	Radomski, <i>et al.</i> (1992).
	17,4	3,0	10,2	6,4	8,0	Wisniewski <i>et al.</i> (1996).
Galhos	9,9	1,4	9,6	5,8	5,0	
	20,9	1,1	10,5	9,1	8,2	Fossati (1997).
	17,6	2,0	16,9	4,6	3,2	Reissmann <i>et al.</i> (1997).
	21,9	1,4	17,0	4,3	4,8	Reissmann <i>et al.</i> (1999).
	24,3	1,6	12,9	9,7	8,9	Fossati, Souza e Reissmann (2003).
Folhas	26,6	1,5	13,5	7,5	8,6	Pandolfo <i>et al.</i> (2003)
	17,9	1,2	17,4	6,5	6,2	Rakocevic, Valduga e Medrado (2003).
	18,9	1,4	12,1	9,5	4,3	Oliva <i>et al.</i> (2006).
	18,8	0,8	15,0	4,6	3,0	Sousa <i>et al.</i> (2008).
	21,9	1,7	16,1	7,0	5,5	Berger (2006).
Madeira	3,8	0,6	4,6	2,4	1,7	
Casca	14,0	1,0	10,2	12,8	5,6	
Raiz	8,2	0,7	5,9	4,6	4,0	
Média folhas	21,1	1,5	14,8	6,6	5,5	-----
Média galhos	10,6	0,9	9,6	7,6	3,3	

A quantificação do conteúdo de nutrientes em plantações florestais e o conhecimento da relação entre exportação e o teor ou conteúdo de nutriente disponível no solo são de extrema importância na definição de estratégias, com vista à manutenção da sustentabilidade do ecossistema (SPANGENBERG *et al.*, 1996). Segundo Caldeira, Neto e Schumacher (2002), dependendo da intensidade de aproveitamento da biomassa florestal produzida, pode-se causar grandes e diferentes impactos sobre a fertilidade do solo nos diferentes sítios. Neste sentido, medidas especiais devem ser tomadas sobre a quantidade e forma de adubação de reposição, para que seja assegurada uma produtividade sustentável a longo prazo.

TABELA 4.2 - TEORES DE Fe, Mn, Cu, Zn E Al NORMALMENTE ENCONTRADOS NA ERVA-MATE

COMPARTIMENTO	NUTRIENTE (mg kg ⁻¹)					FONTE
	Fe	Mn	Cu	Zn	Al	
Galhos	60,0	588,0	18,0	59,0	----	Reissmann <i>et al.</i> (1987).
	99,0	1.810,0	20,0	29,0	----	
	89,7	1.502,2	17,6	51,7	509,5	Radomski, <i>et al.</i> (1992).
	77,7	1.181,0	11,2	27,8	259,6	Reissmann, Radomski e Quadros (1994).
	160,0	2.182,0	7,9	63,5	1.075,0	Fossati (1997).
Folhas	104,7	1.072,0	13,3	35,2	408,9	Reissmann, Radomski e Quadros (1999).
	105,9	2.130,2	10,0	69,8	759,5	Fossati, Souza e Reissmann (2003).
	88,9	1.268,5	9,2	51,5	----	Robassa, Reissmann e Maccari Junior (2003).
	171,7	1.208,0	16,7	36,7	----	Caldeira <i>et al.</i> (2006).
	118,6	653,5	8,0	24,7	----	
Madeira	23,2	82,4	2,7	33,0	----	Berger (2006).
Casca	627,5	279,8	9,3	115,2	----	
Raiz	1.456,4	63,7	9,8	110,9	----	
Média das folhas	112,9	1.445,3	12,6	43,4	640,6	-----

4.2.3 Fertilização

A resposta das culturas a fertilização pode ser influenciada por fatores climáticos, edafológicos e bióticos (GIANELLO; IASSON, 2004). Em relação aos fatores biológicos, segundo Rizzardi *et al.* (2001) a competição é importante, tanto em comunidades naturais de plantas como em agroecossistemas, pois, interfere tanto na disponibilidade de água e nutrientes quanto nas interações por luz na parte aérea. Para Furtini Neto *et al.* (1999), a dificuldade na exploração do potencial de essências florestais nativas pode estar relacionada a variabilidade genética observada nas florestas e a heterogeneidade dos solos, no que tange os requerimentos nutricionais das espécies e a capacidade de adaptação a condições ambientais distintas.

Na cultura da erva-mate os relatos com fertilização são muito escassos e, um termo agravante, muitas vezes encontrado em literatura são recomendações em kg ha⁻¹ ou g planta⁻¹ de determinados formulados a base de NPK, sem levar em conta os níveis destes elementos no solo ou na planta. Segundo Lourenço (1997), ao proceder qualquer fertilização é necessário saber como está o nível de nutrientes

minerais presentes na planta ou disponíveis no solo, pois, antes da ação da fertilização é importante estar ciente de como, quando e onde fertilizar e, se compensará fertilizar. Para isto, a análise foliar e, principalmente, a análise que verifique os níveis dos nutrientes no solo são fundamentais.

A erva-mate é uma espécie considerada de crescimento lento a moderado, apresenta comportamento nutricional de baixa seletividade, absorvendo o que encontra disponível como a maioria das espécies. Desta forma, a fertilização pode ser compreendida em fase de viveiro, plantio e de produção (LOURENÇO,1997).

Em estudo com adubação em mudas de erva-mate, Pintro, Matumoto-Pintro e Schwan-Estrada (1998), constataram que, mesmo em solo a níveis críticos de nutrientes, a resposta ao P e K foram pouco expressivas, já o N contribuiu com os melhores índices de desenvolvimento das mesmas. Por outro lado, Santin *et al.* (2008) verificaram que, doses de N e K acima de 100 mg dm^{-3} de solo influenciaram negativamente o crescimento de mudas de erva-mate, já na dose de 447 mg dm^{-3} de P verificaram os melhores valores das variáveis analisadas.

O plantio a campo de mudas, segundo Medrado *et al.* (2000), apresentou bom desenvolvimento quando aplicado 60 g por cova de fertilização na fórmula NPK 10-20-10, além de 1 kg de fertilização orgânica.

A Argentina foi o país pioneiro em plantios homogêneos de erva-mate e na década de 70, após vários ensaios de campo, recomendavam 300 g por planta de NPK na proporção de 4:1:1. Porém, na década de 90 concluíram que o nível de fertilidade do solo aliado ao estado nutricional das plantas são os principais componentes que determinam o rendimento e a sustentabilidade dos ervaais a médio e longo prazo. Desta forma, passaram a considerar necessário ajustar a relação entre o nível de rendimento dos plantios de erva-mate, com o nível nutricional do solo e da planta, para manter e incrementar a produtividade e a conservação dos recursos solo-planta (SOSA, 1994).

No Brasil, têm sido desenvolvidos alguns ensaios a campo com adubação de ervaais em produção. Porém até o momento a recomendação existente é para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Para o Estado do Paraná, presentemente, os dados são insuficientes para sustentar uma recomendação de adubação para a cultura da erva-mate.

A recomendação de adubação para a cultura da erva-mate para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Anexos 2, Tabelas 1 e 2), baseia-se nos

teores de matéria orgânica e níveis de P e K no solo, com expectativa de rendimentos que variam desde abaixo de 6 t, até maior que 12 t de massa verde por hectare. Quanto à calagem, somente é recomendada 1 t por hectare quando os níveis de Ca ou Mg forem respectivamente menores ou iguais a 2,0 e 0,5 cmol_c dm⁻³ (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004).

Pandolfo *et al.* (2003) testarem diferentes doses de N, P, K e cama de aviário em erva-mate a campo no município de Chapecó – SC, com densidade de 1.905 plantas ha⁻¹. Constataram que não houve resposta significativa da erva-mate ao P adicionado e a dose ótima deve encontrar-se abaixo de 25 g de P₂O₅ por planta. Para o K, quando os teores no solo se situavam abaixo de 120 mg L⁻¹, a aplicação anual de 75 g de K₂O por planta resultou em uma produção de massa verde em torno da resposta máxima. Quando os teores de K estavam acima deste nível, a aplicação anual de 25 g de K₂O por planta foi suficiente para manter a produção de massa verde. Na aplicação de 81 g de N por planta ao ano obtiveram a melhor produção de erva-mate.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Produção de erva-mate verde comercial

4.3.1.1 Produtividade

Observou-se que a produtividade média de erva-mate entre as colheitas expressaram diferenças significativas, sendo que para as colheitas de 2006 sem fertilização foi de 4.514 kg ha⁻¹. Já após a fertilização, a produtividade da colheita de 2007 foi de 5.261 kg ha⁻¹ (Tabela 4.3). A análise da variância mostrou diferença significativa na produtividade de erva-mate verde entre as colheitas e entre as doses de fertilização aplicadas que constituíram os tratamentos. De maneira geral, observou-se que a erva-mate respondeu satisfatoriamente a fertilização química, embora durante o experimento tenham ocorrido eventos climáticos anormais, como estiagem prolongada e geada forte no final do inverno (MANFIO, 2008). Este fato demonstra que esta espécie possui bom potencial de resposta à fertilização em solos ácidos de baixa fertilidade.

A erva-mate respondeu a fertilização com aumento médio de 16,5% na produtividade de massa verde (Tabela 4.3). Embora tenha ocorrido um bom aumento na produtividade, a presença de outras espécies no erval pode ter limitado o rendimento da erva-mate. Mesmo que a erva-mate no ambiente de estudo vegete naturalmente junto com outras espécies, as plantas competem por uma grande variedade de recursos no solo, principalmente água e nutrientes (MARSCHNER, 1995).

A competição entre as plantas por nutrientes e água, presentes no solo desse estudo possivelmente tenha ocorrido, pois o nível de vários elementos no solo apresentava-se baixo (Tabela 3.1) e, associado ao longo tempo de estiagem ocorrido nesta época.

TABELA 4.3 - RESULTADOS DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA A PRODUÇÃO MÉDIA DE ERVA-MATE VERDE PARA AS COLHEITAS DE 2006 E 2007

FATOR DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO	COLHEITA	PRODUÇÃO MÉDIA
				---- Kg ha ⁻¹ ----
BLOCO	9	324743762,08**	2006	4.514,1 B
ÉPOCA	1	11145468,95*	2007	5.260,6 A
TRATAMENTO	3	59523334,22*	MÉDIA	4.887,4
ÉPOCA*TRATAMENTO	3	7543447,09 ^{ns}	CV (%)	30,40
ERRO	63	139062615,89	AUMENTO (%)	16,5

* e ** F significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade de erro respectivamente; ^{ns} F não significativo ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de letra diferente entre colheitas diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os dados absolutos de produção entre as duas colheitas (Tabela 4.4) mostraram variações desde -3% para a testemunha, até 32% para a maior dose (T4). Demonstrando desta forma, que a fertilização aplicada foi benéfica e refletiu no aumento da produtividade.

Com a aplicação de Ca e Mg para toda a área, em função de seus baixos níveis no solo verificados no momento da instalação do experimento (Tabela 3.1), não esperava-se que a testemunha apresentasse redução da produção de massa verde para a colheita de 2007, em relação a de 2006. Pois segundo Souza, Miranda e Oliveira (2007) a aplicação de calcário, além de fornecer Ca e Mg, também melhoram a disponibilidade N, P e K para as plantas.

Por outro lado a erva-mate pode responder negativamente a aplicação de Ca e Mg, como foi verificado em mudas de erva-mate por Reissmann *et al.* (1991), Reissmann *et al.* (1997) e Santin *et al.* (2007) e, em plantios de oito anos por

Reissmann e Carneiro (2004). Deve-se ressaltar que, resposta positiva para a testemunha poderia ser verificada, caso houvessem transcorridos eventos climáticos normais no ano da instalação do experimento. Pois, ao invés do calcário ter induzido resposta negativa na produção de massa verde de erva-mate na testemunha, este fato pode ter sido atribuído a falta de chuva logo após a colheita e, pela queima dos brotos novos pela geada forte no final de agosto. Desta forma, esses eventos também podem ter diminuído a respostas dos tratamentos que receberam fertilização de NPK.

A relação entre o peso de erva-mate verde (PV) e peso de erva-mate seca (PS) em valores absolutos, se manteve muito semelhante para todos os tratamentos (Tabela 4.4), indicando não haver mudanças no teor de umidade da biomassa com fertilização. Na composição dos tratamentos a base de NPK, o K com maior proporção, correspondeu a 53% do total. No T4 com aplicação de 50% a mais da dose recomendada para esta cultura, esperava-se maiores valores entre a relação PV/PS. Isto por que, doses elevadas de K poderiam estimular maior acúmulo de água nos tecidos da planta, reduzindo o PS (SANTIN *et al.*, 2008), consequentemente diminuindo a rentabilidade final de erva-mate seca.

TABELA 4.4 - PARÂMETROS DE PRODUTIVIDADE DE ERVA-MATE VERDE NAS COLHEITAS DE 2006 E 2007, E RELAÇÃO ENTRE O PESO VERDE (PV) E O PESO DE SECO (PS) NA COLHEITA DE 2007, EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK

COLHEITA (kg ha ⁻¹)	TRATAMENTO			
	0	50	100	150
	----- kg ha ⁻¹ -----			
2006*	3.787	4.073	5.109,3	5.087,1
2007	3.659,3	4.765,1	5.926,3	6.691,8
INCREMENTO	-127,8	692,2	816,9	1.604,7
INCREMENTO (%)	-3,4	17,0	16,0	31,5
RELAÇÃO PV/PS	3,4	3,3	3,2	3,4

* Produção de erva-mate antes da aplicação da adubação. ¹ percentagem da recomendação de NPK para a cultura da erva-mate com expectativa de rendimento maior que 12 t ha⁻¹ de massa verde (SBCS, 2004).

A relação entre o PV/PS é uma variável de grande interesse da indústria, pois reflete diretamente no rendimento do produto a ser comercializado (REISSMANN; CARNEIRO, 2004), além de que, a rentabilidade e qualidade do produto final são fatores determinantes no valor pago ao produtor pela matéria prima. Neste trabalho a semelhança da relação PV/PS para todos os tratamentos é um bom indicativo para se incentivar os produtores a adotarem a prática de fertilização de ervais adensados. Porém, antes de pôr em prática estes resultados, deve-se verificar a possível

interferência de doses elevadas de NPK na análise sensorial do produto comercializado.

4.3.1.2 Rendimento e peso de 100 folhas

Para o rendimento de massa verde comercial, assim como para o peso seco de 100 folhas de erva-mate na colheita de 2007, a análise da variância mostrou valores significativos (Anexos 2, Tabela 3). Ao compararmos à produção de erva-mate verde comercial em resposta a aplicação das doses de NPK, observou-se comportamento linear, partindo de valor negativo de 52 kg ha^{-1} para o tratamento que não recebeu adubação, até rendimento positivo máximo de 1.545 kg ha^{-1} para a maior dose (Figura 4.1A). Comportamento semelhante também foi verificado na estimativa do aumento da produção de erva-mate em percentagem, variando de -1% para o T1 até 35% para o T4. Desta forma, o incremento médio de 1.545 kg ha^{-1} verificado para a maior dose de NPK aplicada, pode ser considerado um aumento satisfatório para esta cultura. Entretanto, o comportamento linear da produtividade em resposta as doses de fertilizante, sugere que a dose recomendada (100%), segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004) para esta cultura nos estados de SC e RS, em condições de solos pobres para ervais adensados, pode limitar a produtividade.

O aumento do peso seco de 100 folhas de erva-mate (Figura 4.1B) com o aumento das doses de adubação justifica o incremento da produtividade de erva-mate verde e, a semelhança do valor da relação entre PV/PS para todos os tratamentos, conforme visto na Tabela 4.4.

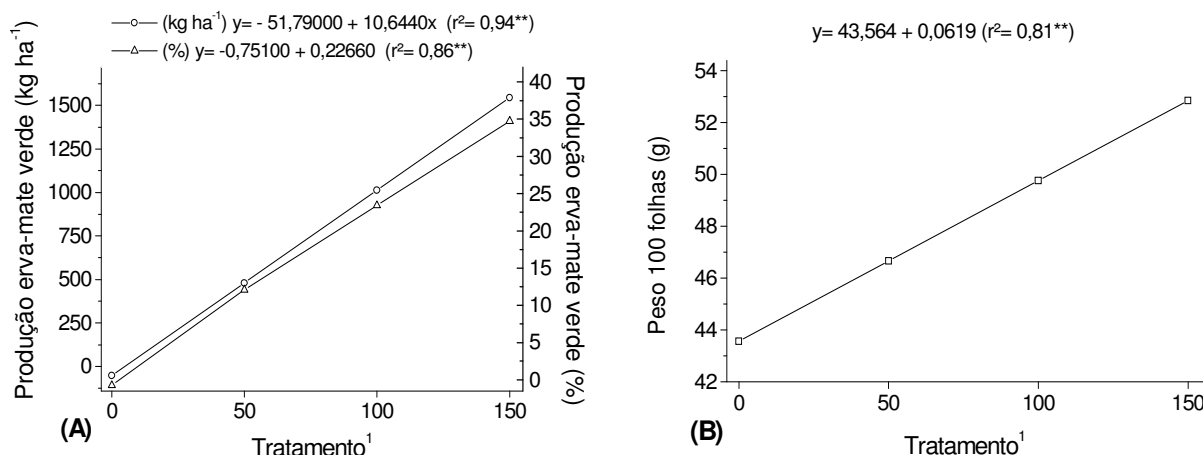


FIGURA 4.1 - (A) RENDIMENTO DE ERVA-MATE VERDE EM PESO E EM PORCENTAGEM E (B) PESO SECO DE 100 FOLHAS DE ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK; * E ** F SIGNIFICATIVO A 5% E 1% RESPECTIVAMENTE, AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO; ¹ PORCENTAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NPK PARA A CULTURA DA ERVA-MATE COM EXPECTATIVA DE RENDIMENTO MAIOR QUE 12 t ha⁻¹ DE MASSA VERDE (SBCS, 2004)

O aumento linear na produção de massa verde de erva-mate, mediante o aumento das doses de NPK, indica necessidade atual desta cultura para estes elementos. Por outro lado, os baixos níveis de P e K encontrados no solo, podem ter favorecido a resposta à fertilização desses elementos.

Para Ceretta, Silva e Pavinato (2007) a resposta das culturas à fertilização está diretamente ligada ao nível de nutrientes no solo e sua disponibilidade natural para as plantas. Sendo que, solos em condições de disponibilidade de nutrientes acima do nível crítico a resposta é baixa. Esta hipótese também foi enfatizada por Pandolfo *et al.* (2003), que ao analisar a resposta da erva-mate à fertilização de um erval com 1.905 plantas ha⁻¹ em um LATOSSOLO VERMELHO Aluminoférrico, uma dose anual de 25 g de P₂O₅ planta⁻¹ foi suficiente para elevar os teores de P no solo e manter os rendimentos de massa verde da erva-mate. Para o K, quando os teores no solo, se situavam abaixo de 120 mg L⁻¹, a aplicação anual de 75 g de K₂O planta⁻¹ resultou na produção de massa verde em torno da resposta máxima e, quando os teores de K estavam acima deste nível, a aplicação anual de 25 g de K₂O por planta foi suficiente para manter a produção de massa verde. Segundo os mesmos autores, o N com uma dose de 81 g planta⁻¹ ao ano e, com teor de 5% de matéria orgânica (MO) foi suficiente para maximizar a produção de erva-mate.

É importante ressaltar que, em ambientes naturais a mineralização do N e P orgânico do solo, pode constituir a principal fonte desses nutrientes para as plantas

(NOVAIS; SMYTH, 1999; CANTARELLA, 2007; SILVA; MENDONÇA, 2007), porém esta pode ser muito reduzida em solos com pH baixo (GILMOUR, 1984), como desse estudo (pH 3,7). A resposta linear a fertilização da produtividade e do teor foliar de N e P, também pode ter sido influenciada por uma baixa mineralização da MO.

4.3.1.3 Viabilidade econômica da fertilização

Quanto aos custos de todo o processo de fertilização, observou-se renda líquida positiva para todas as doses de NPK aplicadas (Tabela 4.5). Entretanto, para a testemunha (T1) que recebeu somente 1 t ha⁻¹ de calcário, o custo desta operação resultou em um valor negativo de R\$ 25,00 ha⁻¹. Para os demais tratamentos verificou-se valor líquido positivo de 134,90, 111,32 e 319,74 R\$ ha⁻¹, respectivamente para 50, 100 e 150% da dose recomendada. Desta forma, os valores líquidos positivos demonstram a viabilidade econômica desta operação para todas as doses de NPK aplicadas.

TABELA 4.5 - DIFERENÇA DA PRODUTIVIDADE DE MASSA VERDE ENTRE A COLHEITA DE 2006 E 2007 EM kg ha⁻¹, RECEITAS, DESPESAS E VALOR LÍQUIDO EM R\$ ha⁻¹ POR TRATAMENTO EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK

FATORES		TRATAMENTO ⁽³⁾			
		0	50	100	150
		----- kg ha ⁻¹ -----			
Diferença de produção		-127,8	692,2	816,9	1.604,7
Receitas ⁽¹⁾	R\$ ha ⁻¹	0,0	242,27	285,92	561,64
Despesas ⁽²⁾		25,00	107,30	174,60	241,90
Valor líquido		-25,00	134,9	111,32	319,74

⁽¹⁾ Preço pago ao produtor de R\$ 0,35 kg⁻¹ de erva-mate verde (já descontado o custo de poda, quebra e transporte); ⁽²⁾ 1 t de calcário R\$ 45,00 (dividido em três safras), saca de 50 kg de uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente a R\$ 49,00, R\$ 54,00 e R\$ 40,00. Levando em consideração uma diária e meia de trabalho para aplicações, sendo uma diária para o calcário e meia para a adubação (R\$ 30,00 diária⁻¹). ⁽³⁾ Percentagem da recomendação de NPK para a cultura da erva-mate com expectativa de rendimento maior que 12 t ha⁻¹ de massa verde (SBCS, 2004)

O manejo sustentado é aquele que leva a uma produção contínua do recurso explorado, sem a deterioração dos demais recursos e benefícios envolvidos, inclusive o financeiro. A produtividade é fator de grande importância para a viabilidade de culturas florestais, sendo que ações podem ser tomadas para aumentar a produtividade dos plantios, levando-se em conta a questão ambiental e a

redução dos custos de produção, destacando-se dentre várias práticas silviculturais a fertilização (OLIVEIRA *et al.*, 1998).

Normalmente, o enfoque econômico dos recursos florestais é dado apenas pelo que representa financeiramente o produto da colheita, sem levar em conta a biodiversidade de outras espécies presentes (GARRIDO FILHA, 2002). No ambiente de estudo, além da biodiversidade das espécies presentes, o envolvimento de mais de 20 pessoas (limpeza, colheitas e processamento da erva-mate) também devem ser considerados como componentes de valorização do erval sob o ponto de vista social.

A erva-mate é a espécie florestal mais aconselhada para que o produtor obtenha uma receita extra na propriedade, pois, apresenta boa rentabilidade econômica independente de tamanhos de áreas plantadas na região de sua ocorrência (MALINOVSKI, 2006). Desta forma, se esta cultura atualmente sem a prática de fertilização já demonstra rentabilidade, se os agricultores passarem a adotar práticas de fertilização, sem dúvida, a erva-mate poderá ser muito mais rentável economicamente.

4.3.2 Teor foliar de minerais em resposta as doses de NPK

4.3.2.1 Teor foliar médio de macronutrientes

Após 18 meses da instalação do experimento a análise de regressão revelou que dentre os macronutrientes analisados, o N, P e K que compuseram os tratamentos mostraram-se significativos em função das doses de NPK aplicadas (Tabela 4.6).

A significância para o teor foliar de Ca e Mg somente verificada na caracterização da área para a colheita de 2006 (Anexos 1, Tabela 1), mostra que o calcário aplicado foi suficiente para disponibilizar esses elementos no erval, embora para o Ca, por estar presente no superfosfato triplo, as próprias doses de NPK podem ter contribuído para a ausência da significância deste elemento na colheita de 2007.

O N com teor foliar médio de $28,4 \text{ g kg}^{-1}$ ficou acima da média da maioria dos trabalhos consultados para esta espécie (Tabela 4.1), embora Radomski *et al.*

(1992) e Pandolfo *et al.* (2003) também tenham encontrado teores semelhantes. Para Radomski, *et al.* (1992), teores acima de 23,0 g kg⁻¹ podem ser adequados.

TABELA 4.6 - ANÁLISE DE REGRESSÃO PARA O TEOR FOLIAR MÉDIO DE N, P, K, Ca E Mg EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK

CAUSA DE VARIACÃO		GL	QUADRADO MÉDIO				
			N	P	K	Ca	Mg
			----- g kg ⁻¹ -----				
Tratamento		3	66,982**	0,0278 ^{ns}	25,675 ^{ns}	1,250 ^{ns}	1,443 ^{ns}
Regressão (grau)	1º	1	183,553**	0,0578*	73,447*	0,130 ^{ns}	0,994 ^{ns}
	2º	1	2,704 ^{ns}	0,0014 ^{ns}	3,481 ^{ns}	0,420 ^{ns}	2,256 ^{ns}
	3º	1	14,688 ^{ns}	0,0242 ^{ns}	0,0968 ^{ns}	3,200 ^{ns}	1,080 ^{ns}
Erro		27	5,189	0,0120	9,697	0,994	0,618
Média		---	28,4	1,4	21,1	7,6	5,3
CV%		---	8,1	7,7	14,7	13,2	14,8

* e ** F significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente e ^{ns} F não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Para o K, o teor de 21,1 g kg⁻¹ está acima da média normalmente verificada para a erva-mate (Tabela 4.1). Por outro lado, se comparados aos dados de Radomski, *et al.* (1992), que observaram teor médio de 20,8 g kg⁻¹ de K em folhas de erveiras entre 50 a 100 anos idade, o valor encontrado neste trabalho pode ser considerado como adequado.

Os teores foliares médios de P, Ca e Mg, respectivamente de 1,4; 7,6; 5,3 g kg⁻¹ (Tabela 4.6), se encontram coerentes com a média para esta cultura, conforme demonstrado anteriormente na Tabela 4.1. Os níveis adequados do teor foliar de Ca e Mg indicando que a aplicação de 1 t ha⁻¹ de calcário foi eficiente para disponibilizar esses elementos às plantas.

4.3.2.2 Teor foliar de macronutrientes em função das doses de NPK

O teor foliar dos elementos que constituíram os tratamentos mostrou comportamento linear (Figura 4.2 A e B). Ou seja, à medida que se aumentaram as doses de uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, o teor foliar de N, P e K também aumentaram linearmente.

O solo, apesar de apresentar nível de matéria orgânica alto (Anexos 2, Tabela 4) e o teor foliar médio de N da testemunha (Figura 4.2 A) estar com nível acima da média normalmente verificada para a erva-mate (Tabela 4.1), a resposta do teor de

N em relação aos tratamentos foi significativa. Pandolfo *et al.* (2003), ao testarem doses crescentes de N, também observaram comportamento semelhante, ou seja, com teor de 5% de MO no solo, para doses anuais de zero e máxima de 125 g planta⁻¹ de N, obtiveram resposta linear, respectivamente com teores foliares de 24 e 29 g kg⁻¹ de massa seca, e com máxima produção de biomassa na dose de 81 g planta⁻¹ de N.

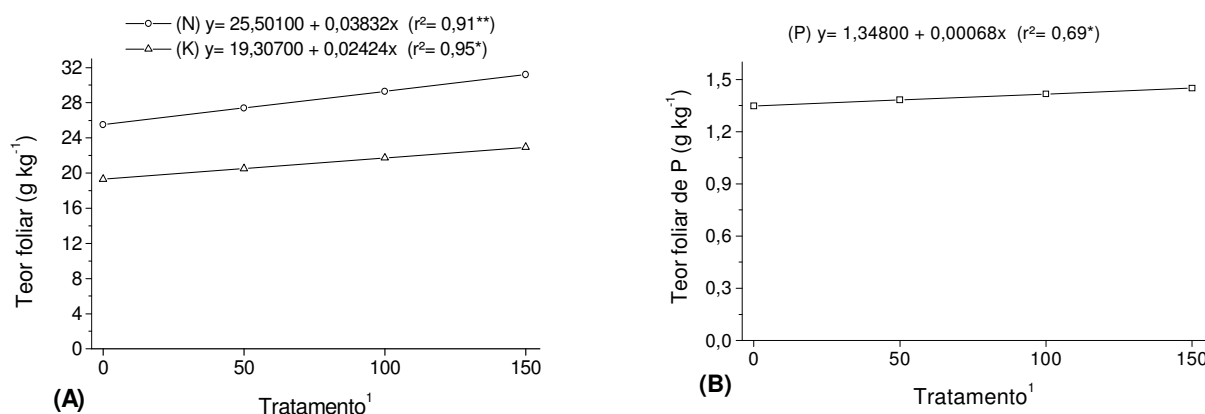


FIGURA 4.2 - (A) TEOR FOLIAR MÉDIO DE N E K E (B) TEOR FOLIAR MÉDIO DE P EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK; * E ** EFEITO SIGNIFICATIVO A 5% E 1% DE PROBABILIDADE RESPECTIVAMENTE PELA ANÁLISE DE REGRESSÃO AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO; ¹ PORCENTAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NPK PARA A CULTURA DA ERVA-MATE COM EXPECTATIVA DE RENDIMENTO MAIOR QUE 12 t ha⁻¹ DE MASSA VERDE (SBCS, 2004)

Apesar do teor foliar de N estar acima da média para esta cultura, a resposta linear do teor foliar deste elemento e da produtividade, mostra que esta cultura ainda tem potencial de resposta a doses maiores do que as testadas.

Dos três elementos que compuseram os tratamentos, o P foi o único, cujo teor foliar ficou abaixo do nível normalmente verificado na erva-mate, mesmo na dose máxima de NPK aplicada. Nos trabalhos desenvolvidos com erva-mate, normalmente são constatados baixos teores foliares de P e com ausência do registro de sintomas de deficiência nutricional (REISSMANN *et al.*, 1985; FOSSATI, 1997; SOUZA *et al.*, 2008). Por este motivo, normalmente esta espécie é considerada de baixa exigência nutricional de P. Por outro lado, cabe salientar que os trabalhos desenvolvidos por Reissmann *et al.* (1985) e Fossati, (1997) foram realizados em solos com níveis de P muito baixos e baixos (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004). Portanto, mesmo que a erva-mate esteja adaptada a ambientes pobres naturalmente em P, não significa que esta cultura não responda a fertilizações fosfatadas. Esta hipótese também foi evidenciada por Santin *et al.*

(2008), que ao testar doses de P em mudas de erva-mate obtiveram a maior produção de massa verde na dose de 437 mg dm^{-3} de solo.

A resposta linear do teor foliar de P, aliado a resposta da produção para a fertilização aplicada, mostra que esta cultura apresenta potencial de resposta a este elemento. Esta dúvida poderia ser elucidada com experimentos individuais para cada elemento, pois, tratamentos com formulados de NPK tornam-se difícil julgar a resposta de cada elemento.

De maneira geral, para o tratamento sem aplicação de NPK (T1) o teor foliar de N e P foram coerentes com o nível destes no solo. Ou seja, o nível alto de MO no solo pode ter favorecido o alto teor de N na folha, assim como o baixo nível de P no solo interferiu nos baixos teores foliares deste elemento. Porém, o comportamento do teor foliar do K não acompanhou esta tendência. Apesar do K estar em nível baixo no solo (Anexos 2, Tabela 4), na testemunha o teor foliar médio de K apresentou valores acima do comumente verificado em erva-mate (Tabela 4.1).

Em alguns casos, principalmente espécies perenes florestais conseguem extrair o K presente no solo tanto nas formas trocáveis como, normalmente, não trocáveis (MELO *et al.* 1995). Neste caso, além do K trocável, a erva-mate poderia estar extraíndo este elemento de formas menos disponíveis.

A resposta linear do teor foliar do K para as doses aplicadas comportou-se semelhante a do N e P. Já no solo, dos elementos que compuseram as doses a base de NPK, o K foi o único que se observou mudança de nível. Ou seja, enquanto que o K no solo apresentou nível baixo antes da aplicação dos tratamentos e, permaneceu neste nível no final do experimento para a testemunha (T1), para os demais tratamentos (Anexos 2, Tabela 4) o teor de K no solo subiu para nível médio (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004).

No estudo realizado por Pandolfo *et al.* (2003) com aplicação anual de K em erval solteiro verificaram que na menor dose aplicada (25 g planta^{-1} de K_2O), após cinco anos de experimento, o teor de K no solo passou de 66 para 117 mg dm^{-3} e o teor foliar de K nas plantas passou de 8 para 13 mg dm^{-3} . Na dose máxima ($125 \text{ g planta}^{-1}$ de K_2O) neste mesmo período o teor de K no solo passou de 66 mg dm^{-3} para 419 mg dm^{-3} e, o teor foliar subiu de 8 para 19 g kg^{-1} .

Ao serem comparados os resultados de Pandolfo *et al.* (2003), com os encontrados nesse trabalho, percebe-se uma incompatibilidade do comportamento do K em relação ao seu nível no solo com o teor encontrado nas folhas. Outra

hipótese para este comportamento pode estar relacionada ao potencial das espécies arbóreas presentes no erval de estudo (Tabela 3.2) na ciclagem de nutrientes, quando comparado a ervais solteiros. Apesar do K, principalmente em condições de solo com pH baixo, ser facilmente lixiviado (SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007), embora nesse trabalho, esta condição poderia ser amenizada pela alta CTC do solo.

Na planta, por não possuir função estrutural, o K apresenta grande mobilidade (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), o que o torna de fácil translocação dentro da planta e facilmente lavável das folhas (MENGEL; KIRKBY, 1987). Como o K é um nutriente que se encontra na forma iônica, a contribuição da lixiviação pela água da chuva da copa deste elemento é mais efetiva do que a própria deposição anual da serapilheira (EATON *et al.*, 1973), onde nutrientes em solução podem ser absorvidos antes de ser lixiviados para camadas inferiores (JORDAN, 1985). Como a erva-mate normalmente apresenta um sistema radicular superficial, as outras espécies presentes (Tabela 3.2) com estrutura arbórea superior, poderiam estar absorvendo K em maior profundidade do que a erva-mate. Nestas condições a erva-mate poderia estar aproveitando o K lixiviado da copa destas árvores presentes no erval.

4.3.2.3 Teor foliar médio de micronutrientes, Al e Na

Com relação aos micronutrientes Fe, Mn, Cu e Zn e os elementos Al e Na, a análise de regressão mostrou que todos apresentaram significância em relação ao tratamento, exceto o Fe (Tabela 4.7).

O teor foliar médio de Fe de $76,5 \text{ mg kg}^{-1}$ apesar de encontrar-se abaixo da média normalmente verificada na erva-mate (Tabela 4.2), Dechen e Nachtigall (2006) ressaltam que teores entre 50 e 100 mg kg^{-1} são adequados para o crescimento normal das plantas.

Para o Mn, observou-se que o teor foliar médio de $1.306,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ficou abaixo da média normalmente encontrada em literatura para esta espécie (Tabela 4.2). Porém, Segundo Kabata- Pendias e Kabata (2000), teor foliar de Mn em torno de 500 mg kg^{-1} afetam o desenvolvimento da maioria das plantas, entretanto, valores superiores a 1000 mg kg^{-1} também têm sido frequentemente encontrados em algumas espécies ou genótipos considerados tolerantes ao Mn. Reissmann,

Radomski e Quadros (1994), ao analisarem 20 amostras de folhas de erva-mate, verificaram valores de Mn desde 350 até 3.250 mg kg⁻¹. Reissmann e Carneiro (2004) relatam que, como é normal constatar Mn em teores acima de 1000 mg kg⁻¹, é possível que esta espécie seja tolerante e acumuladora deste elemento. Este aspecto pode ser coerente, já que a erva-mate ocorre naturalmente em solos ácidos. Porém, apesar dos altos teores de Mn nesta espécie terem sido verificados em vários trabalhos, até o momento não há registro de pesquisas específicas para este elemento para a cultura da erva-mate.

O teor foliar médio de Cu de 14,4 mg kg⁻¹ situou-se ligeiramente acima de outros trabalhos realizados com erva-mate (Tabela 4.2). Os teores de Cu no tecido vegetal, entre 5 e 20 mg kg⁻¹, são considerados adequados para o desenvolvimento da maioria das plantas (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). Para a erva-mate é comum verificar teores de Cu muito diferentes entre trabalhos. Fossati (1997), ao avaliar o estado nutricional de um erval com sete anos de idade, constatou em alguns sítios teores foliares de Cu abaixo de 7 mg kg⁻¹ de massa seca. Porém, Reissmann *et al.* (1987) em trabalho com erva-mate adulta, verificaram teores de 20 mg kg⁻¹, ou seja, valores correspondentes ao máximo da faixa considerada adequada para a maioria das plantas. Neste sentido, nota-se que a erva-mate se desenvolve com uma faixa bastante ampla de teores de Cu na planta. De certa forma, esta característica é interessante do ponto de vista nutricional, onde normalmente sintomas de carência ou excesso deste elemento se tornam mais difíceis de ocorrerem.

TABELA 4.7 - ANÁLISE DE REGRESSÃO PARA O TEOR FOLIAR MÉDIO DE Fe, Mn, Cu, Zn, Al E Na EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK

CAUSAS DE VARIAÇÃO		GL	QUADRADO MÉDIO					
			Fe	Mn	Cu	Zn	Al	Na
			----- mg kg ⁻¹ -----					
Tratamento		3	255,009 ^{ns}	530865,14 ^{**}	112,320 ^{**}	2502,862 ^{**}	1548334,682 ^{**}	8,917 ^{**}
Regressão (grau)	1º	1	194,834 ^{ns}	255201,97 ^{ns}	117,965 ^{**}	2,808 ^{ns}	3534449,194 ^{**}	8,450 [*]
	2º	1	113,569 ^{ns}	52925,63 ^{ns}	215,296 ^{**}	3152,400 ^{**}	76772,644 ^{**}	12,250 [*]
	3º	1	456,624 ^{ns}	1304467,82 ^{**}	3,699 ^{ns}	4353,378 ^{**}	1034382,211 ^{**}	6,050 ^{ns}
Erro		27	73,983	110074,37	3,421	125,321	5199,319	1,694
Média		---	76,5	1.306,0	14,4	43,3	669,3	135,5
CV%		---	11,2	25,4	12,8	25,9	10,8	29,9

* e ** F significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. ^{ns} F não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

O teor foliar médio de Zn de 43,3 mg kg⁻¹ se situou na faixa média normalmente verificada para esta espécie (Tabela 4.2). Segundo Marschner (1995),

níveis críticos de deficiência de Zn para a maioria das plantas estão abaixo de 20 mg kg⁻¹ de matéria seca. Para Dechen e Nachtigall (2006) as concentrações de Zn nas plantas variam entre 3 e 150 mg kg⁻¹ de matéria seca. Na erva-mate é comum verificar grandes variações do teor foliar de Zn em plantas com mesma idade. Fossati (1997), ao trabalhar com erveiras de sete anos, em uma toposequência de 10 sítios, obteve teores foliares de Zn entre 45 e 130 mg kg⁻¹ de matéria seca. Reissmann, Radomski e Quadros (1994) ao analisarem 20 amostras de folhas de erva-mate, verificaram que o teor de Zn variou de 6 até 75 mg kg⁻¹ de massa seca. Como na erva-mate, normalmente é constatado grande variação no teor de Zn na planta, aliado a ausência de relatos de sintomas de deficiência ou toxidez, torna-se difícil saber qual a faixa dos níveis ideais desse elemento para esta cultura.

Para o Al, o teor médio de 669,3 mg kg⁻¹ está coerente com os valores verificados para a erva-mate (Tabela 4.2). Assim como ocorrem variações do teor foliar da erva-mate com outros elementos, também é comum para o Al. Reissmann, Radomski e Quadros (1999), ao analisarem plantas de erva-mate de várias idades verificaram variação nos teores desde 167 até 1.235 mg kg⁻¹. Para Reissmann, Radomski e Quadros (1994), os teores de Al em folhas de plantas adultas, situaram-se entre 110 e 1.140 mg kg⁻¹ de massa seca. A toxidez do Al é reconhecida como fator limitante no crescimento da maioria das plantas em solos ácidos (FOY; CHANEY; WHITE, 1978). Porém, há plantas consideradas acumuladoras e tolerantes ao Al, sendo que possivelmente os mecanismos de tolerância estejam envolvidos com a ação de ácidos orgânicos (MA; RYAN; DELHAIZE, 2001), com característica multigênica complexa (BARCELÓ; POSCHENRIEDER, 2002) e pela inativação de substâncias tóxicas do Al pelo efluxo de malato no ápice das raízes (KIKUI *et al.*, 2007). Contudo, até o momento, apesar do contínuo esforço científico, o entendimento dos mecanismos causais da toxidez e da tolerância ao Al em plantas ainda é bastante limitada (BARCELÓ; POSCHENRIEDER, 2002).

Segundo Marschner (1995), sob certas condições e, para espécies de plantas com alta tolerância ao alumínio, baixos níveis deste metal podem causar efeitos benéficos ao crescimento de plantas superiores. Desta forma, enquanto que em escala global se investe crescentes volumes de recursos em pesquisas para seleção de plantas resistentes a ambientes ácidos (BARCELÓ; POSCHENRIEDER, 2002), a

erva-mate, por se desenvolver naturalmente em solos com pH baixo, demonstra que esta característica já é intrínseca da espécie.

Quanto ao Na, percebe-se que até o momento este elemento praticamente não despertou o interesse dos pesquisadores, pois são raros os estudos e dados sobre o teor deste elemento em erva-mate. Oliva (2007), ao analisar a composição química de erva-mate com 10 anos de idade, com procedência de Ivaí – PR e Barão de Cotegipe - RS, verificou teor foliar médio de Na respectivamente de 210 e 220 mg kg⁻¹. Desta forma os teores de Na de 138,0 mg kg⁻¹ encontrados neste trabalho (Tabela 4.7), encontram-se um pouco abaixo aos referenciados acima.

É importante lembrar que os teores foliares médios verificados em literatura, tanto dos macronutrientes (Tabela 4.1), quanto dos micronutrientes e Al (Tabela 4.2) normalmente são oriundos de trabalhos em ervais com longo tempo de exploração sem aplicação de fertilização. Portanto é provável que a média desses teores esteja abaixo dos que realmente seria com ervais bem supridos nutricionalmente. Esta hipótese pode ser constatada ao se verificar maior teor para a maioria dos elementos na colheita de 2007 (Tabelas 4.6 e 4.7) quando comparada aos teores da caracterização da área na colheita de 2006 (Anexos 1, Tabelas 1 e 2).

4.3.2.4 Teor foliar de micronutrientes, Al e Na em função das doses de NPK

O Mn mostrou-se bastante variável, com teor foliar mínimo de 1.079,2 mg kg⁻¹ e ponto de máximo de 1.579,7 mg kg⁻¹, respectivamente em 34 e 112% da dose recomendada (Figura 4.3). As constantes baixas e altas nos valores, em função das doses aplicadas fazem este elemento de difícil compreensão.

Boeger, Wisniewski e Reissmann (2005), ao analisarem nutrientes foliares de espécies arbóreas da Mata Atlântica do litoral paranaense, também constataram grandes variações da concentração de Mn entre espécie e entre indivíduos da mesma espécie.

O Mn e o Fe, além de encontrar-se em quantidades elevadas no solo quando comparados aos demais micronutrientes, também são similares quanto à valência, forma e tamanho absorvido e susceptibilidade ao processo de oxi-redução (MOTTA *et al.*, 2007). Em condições de pH baixo, a mobilidade e a disponibilidade de Mn no solo para as plantas aumenta (MENGEL; KIRKBY, 1987; ABREU; LOPES; SANTOS,

2007; MOTTA *et al.*, 2007). A erva-mate por ocorrer naturalmente em solos com pH ácido, assim como verificado nesse estudo (Anexos 2, Tabela 4), pode ter contribuído no teor foliar elevado de Mn encontrado.

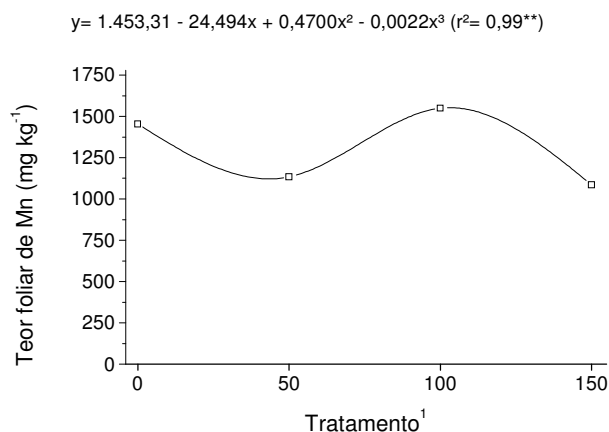


FIGURA 4.3 - TEOR FOLIAR MÉDIO DE Mn EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK; ** EFEITO SIGNIFICATIVO A 1% DE PROBABILIDADE, PELA ANÁLISE DE REGRESSÃO AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO; ¹ PERCENTAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NPK PARA A CULTURA DA ERVA-MATE COM EXPECTATIVA DE RENDIMENTO MAIOR QUE 12 t ha⁻¹ DE MASSA VERDE (SBCS, 2004)

O Cu e o Zn demonstraram comportamentos muito semelhantes, com pico de teor máximo de 17,6 mg kg⁻¹ de Cu e de 54,6 mg kg⁻¹ de Zn, respectivamente em 91 e 77% da dose recomendada (Figura 4.4 A). Por outro lado, enquanto o Na diminuiu seu teor foliar com ponto de mínimo de 113,2 mg kg⁻¹ na dose de 56% e, após com progressivo aumento atingindo em 150% da dose recomendada o teor de 175,4 mg kg⁻¹, o teor foliar de Al aumentou de forma linear conforme o aumento das doses, variando de 227,2 mg kg⁻¹ na testemunha a 1.024,1 mg kg⁻¹ na dose máxima (Figura 4.4 B).

Observou-se que o pico do teor máximo do Cu e do Zn ocorreu em doses muito próximas. Assim como o Fe e Mn, o Cu e o Zn também tendem a aumentar sua disponibilidade no solo para as plantas em condições de pH ácido (KABATA-PENDIAS; KABATA, 2000; ABREU; LOPES; SANTOS, 2007; MOTTA *et al.*, 2007).

O aumento do teor foliar de Cu e Zn até próximo de 100% da dose recomendada aplicada, aparentemente poderia se atribuir a ação do efeito positivo na disponibilidade ou na absorção destes elementos com aumento nas doses de NPK, sendo que nas doses mais elevadas esses elementos teriam ação negativa na disponibilidade e absorção do Cu e Zn para as erva-mates. Porém, além do Cu e o Zn apresentarem interação antagônica entre si, este processo também pode ocorrer do

Zn com o P, Ca, Fe, Mn e o N (MOTTA *et al.*, 2007) e, do Cu com o Fe, P e o Ca (KABATA-PENDIAS; KABATA, 2000). Entretanto é importante salientar que, a interação entre elementos, normalmente ocorre quando a concentração de um se torna muito desproporcional em relação ao outro no solo. Para esse trabalho, onde apenas o K teve seu nível elevado no solo em resposta as doses aplicada de NPK (Anexos 2, Tabela 4), aliado a falta de informação do teor dos micronutrientes presentes no solo, torna-se mais difícil o entendimento da variação significativa verificada no teor de Cu e Zn nas folhas de erva-mate.

Observou-se que o teor foliar do Al apresentou o comportamento linear de maior magnitude, em relação aos demais elementos. É sabido que o teor foliar de Al normalmente encontrado em erva-mate é relativamente alto e muito variável. Entretanto, os trabalhos relacionados com Al em espécies florestais enfatizam a relação direta deste elemento sobre a redução da produção de massa seca e da concentração de outros elementos na planta (KUHN; BAUCH; SCHRÖDER, 1995; FURTINI NETO *et al.*, 1999).

A relação do aumento do teor foliar de Al, diretamente proporcional as doses crescentes de NPK, podem estar envolvida com o estímulo do P no crescimento radicular. Segundo Marschner, Kirkby e Cakmak (1996) nas plantas sob condições de solos com deficiência nutricional, principalmente de P e N, o crescimento radicular é favorecido a fim de maximizar absorção de nutrientes presentes no solo. Contudo, o fornecimento de P nestas condições poderia aumentar a relação raiz parte aérea (BURSLEM; GRUBB; TURNER, 1995).

A erva-mate é uma espécie que apresenta comportamento nutricional de baixa seletividade (LOURENÇO, 1997). Em condições de baixo teor de P no solo (Anexos 2, Tabela 4), as doses crescentes de NPK, possivelmente tenham estimulado o crescimento radicular e, conseqüentemente, aumentado a taxa de absorção de nutrientes, assim como maior entrada de Al nas plantas.

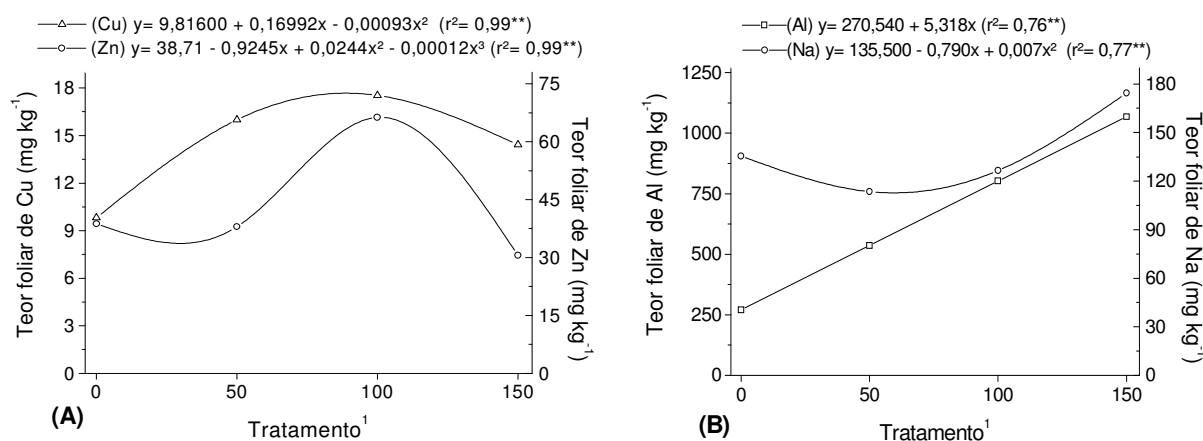


FIGURA 4.4 - (A) TEOR FOLIAR MÉDIO DE Cu E Zn E (B) TEOR FOLIAR MÉDIO DE Al E Na EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK; ** EFEITO SIGNIFICATIVO A 1% DE PROBABILIDADE, PELA ANÁLISE DE REGRESSÃO AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO; ¹ PERCENTAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NPK PARA A CULTURA DA ERVA-MATE COM EXPECTATIVA DE RENDIMENTO MAIOR QUE 12 t ha⁻¹ DE MASSA VERDE (SBCS, 2004)

Outra hipótese que não pode ser descartada é que, em solos muito ácidos a nitrificação torna-se limitada (ROSOLEM; FOLONI; OLIVEIRA, 2003). Segundo Schmidt (1982)² citado por Cantarella (2007), em pH abaixo de 4 a nitrificação pode ser inibida. Nessas condições, a maioria do N é absorvido na forma de amônio (NH₄⁺), e na necessidade da planta manter o equilíbrio de cargas e o pH no interior das células próximos da neutralidade, libera através das raízes quantidades expressivas de H⁺ que reduz o pH rizosférico das mesmas (HINSINGER *et al.*, 2003). Sendo que, conforme as doses de NPK foram aumentando, maior pode ter sido a taxa de absorção pelas raízes de N na forma de NH₄⁺. Consequentemente, isto pode ter reduzido o pH rizosférico e aumentado o Al livre, podendo ser absorvido pelas plantas. Neste caso, o Mn também pode tornar-se mais disponível, entretanto neste trabalho esse elemento comportou-se diferente do Al.

A redução inicial do teor foliar de Na até 56% da dose recomendada de NPK para a cultura da erva-mate, e após com gradativo aumento até a dose máxima aplicada, pode estar relacionada com a competitividade de cátions no solo pelo efeito de concentração.

Isto por que a habilidade de uma planta para obter quantidades suficientes de nutriente para um bom desenvolvimento, pode não depender apenas da

² SCHMIDT, E. Nitrification in soil. In: STEVENSON, F. J.; BREMNER, J. M.; HEUCK, R. D.; KEENEY, D. R. Nitrogen in agricultural soils. Madison, American Society of Agronomy, 1982, 940 p. (Agronomy Series, 22)

concentração e da forma disponível do elemento, mas de outros cátions presentes no meio de crescimento e na absorção de um determinado cátion pela planta (BÜLL; VILLAS BÔAS; NAKAGAWA, 1998). Este processo, normalmente é observado quando ocorrem diferenças de concentração entre cátions no solo, onde, o que está em maior proporção desloca o que está em menor, para a solução do solo.

Este fato foi observado na influência do magnésio, reduzindo a absorção de cálcio e potássio (BÜLL; NAKAGAWA, 1995), redução na absorção de cálcio, com a elevação do nível de potássio no meio de crescimento (ALVES *et al.*, 1988; BÜLL *et al.*, 1993) e, aumento na concentração de Ca e Mg em solução, diretamente proporcional à elevação do teor de potássio aplicado (BÜLL; VILLAS BÔAS; NAKAGAWA, 1998).

Nesse trabalho, inicialmente com uma pequena dose de NPK, o K em pequenas proporções na solução do solo teria sido prontamente absorvido pelas plantas, reduzindo a absorção de Na. À medida que as doses aplicadas de NPK foram aumentando, o K em maior concentração no solo teria favorecido o deslocamento de cátions de Na para a solução, anteriormente adsorvidos nos colóides do solo. Desta forma, com maior quantidade de Na disponível, maior teria sido sua absorção e, conseqüentemente maior concentração na planta.

Deve-se levar em conta que os fatores envolvidos na disponibilidade de nutrientes para as plantas de erva-mate podem ter sido influenciados pela variabilidade de espécies arbóreas presentes na área. Desta forma, a resposta do comportamento do teor foliar de alguns elementos, em função das doses de NPK aplicadas, normalmente não é relatada em literaturas. Isto porque, a maioria dos trabalhos são desenvolvidos com uma única espécie. Nas condições desse trabalho, a interação e a competição das outras espécies com a erva-mate, pode ter influenciado no comportamento dos nutrientes no solo e na planta.

4.3.3 Estado visual da erva-mate após a fertilização

É importante ressaltar a evidência visual do estado nutricional da erva-mate, principalmente no final do experimento. Observou-se que, na maioria das parcelas que não receberam doses de NPK (T1), muitas plantas apresentaram queda acentuada de folhas (Figura 4.4 A), o que não se constatou nas parcelas que

receberam doses de fertilizante (T2, T3 e T4). A coloração das folhas das erveiras que receberam as duas maiores dose de NPK (T3 e T4) apresentaram um verde escuro mais intenso (Figura 4.4 B), principalmente quando comparadas à testemunha (T1).

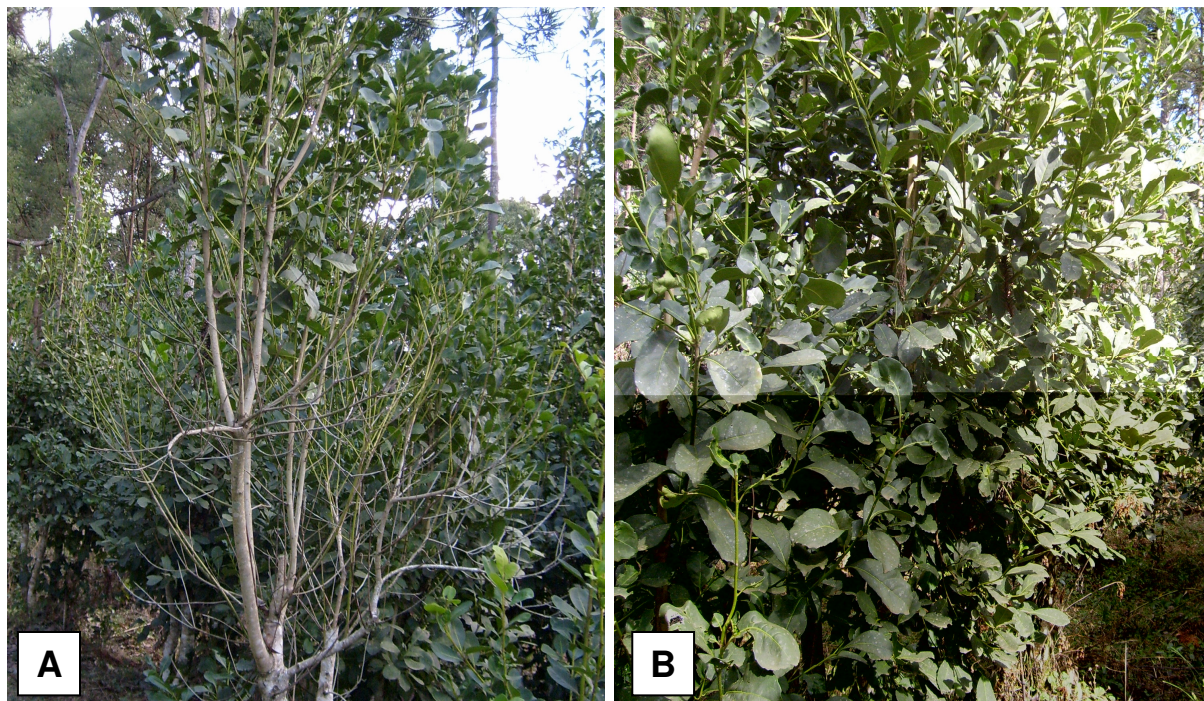


FIGURA 4.5 - (A) ERVEIRA SEM FERTILIZAÇÃO COM GALHOS SEM FOLHAS E (B) ERVEIRAS VIGOROSAS QUE RECEBERAM DOSE MÁXIMA DE FERTILIZADA COM NPK

4.3.4 Exportação de macronutrientes pela colheita da erva-mate

4.3.4.1 Exportação de nutrientes pelas folhas, talos e galhos

Os macronutrientes exportados pela colheita de 2007 para folhas (Tabela 4.8) variaram em função da produtividade e tratamentos. Já para os talos e galhos, onde os cálculos do teor de nutrientes foram efetuados a partir de valores fixos, a variação da exportação de macronutrientes ocorreu somente pela diferença de produtividade entre os tratamentos.

Dentre os macronutrientes que compuseram os tratamentos, para todos os componentes, o N seguido pelo K foram os elementos que mais foram exportados, sendo o somatório da média geral respectivamente de 60,3 e 44,3 kg ha⁻¹. O P, com 3,7 kg ha⁻¹, na média geral foi o menos exportado.

Para a exportação dos elementos Ca e Mg no somatório da média geral dos componentes foi respectivamente de 23,4 e 11,8 kg ha⁻¹.

TABELA 4.8 - PESO SECO DE FOLHAS, TALOS¹ E GALHOS², TEOR E EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES POR TRATAMENTO (TRAT) PARA CADA COMPARTIMENTO (COMP)

TRAT ³	COMP	PESO kg ha ⁻¹	TEOR*					EXPORTAÇÃO				
			N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
			----- g kg ⁻¹ -----					----- kg ha ⁻¹ -----				
0	Folha	973	25,5	1,3	19,3	7,5	5,3	24,8	1,3	18,8	7,3	5,1
	Talo	438	11,8	1,0	11,3	9,9	3,6	5,2	0,4	4,9	3,3	1,6
	Galho	1.022	7,8	0,7	4,4	3,8	1,4	8,0	0,7	4,5	3,9	1,4
50	Folha	1.337	27,4	1,3	20,5	7,3	5,6	36,7	1,8	27,4	9,8	7,5
	Talo	602	11,8	1,0	11,3	9,9	3,6	7,1	0,6	6,8	6,0	2,2
	Galho	1.404	7,8	0,7	4,4	3,8	1,4	11,0	1,0	6,2	5,3	2,0
100	Folha	1.619	29,3	1,4	21,7	8,5	5,4	47,5	2,3	35,2	13,7	8,8
	Talo	729	11,8	1,0	11,3	9,9	3,6	8,6	0,7	8,2	7,2	2,6
	Galho	1.700	7,8	0,7	4,4	3,8	1,4	13,3	1,2	7,5	6,5	2,4
150	Folha	1.766	31,2	1,5	22,9	8,7	4,8	55,2	2,6	40,5	15,4	8,4
	Talo	795	11,8	1,0	11,3	9,9	3,6	9,4	0,8	9,0	7,9	2,9
	Galho	1.854	7,8	0,7	4,4	3,8	1,4	14,5	1,3	8,2	7,0	2,6
Média	Folha	1.424	28,4	1,4	21,1	8,0	5,3	41,0	2,0	30,5	11,6	7,4
	Talo	641	11,8	1,0	11,3	9,9	3,6	7,6	0,6	7,2	6,1	2,3
	Galho	1.495	7,8	0,7	4,4	3,8	1,4	11,7	1,1	6,6	5,7	2,1
Total do somatório da média de folha, talos e galhos								60,3	3,7	44,3	23,4	11,8

¹ Galhos finos que saem junto com as folhas durante a colheita; ² galhos mais grossos que sobram do processo da colheita; * Das folhas deste trabalho e de talos e galhos do trabalho de Campos (1991), para a colheita da safra do erval de 9 anos de idade e ³ Percentagem da recomendação de NPK para a cultura da erva-mate com expectativa de rendimento maior que 12 t ha⁻¹ de massa verde (SBCE, 2004)

Os valores exportados de N pelas folhas variaram de 24,8 a 55,2 kg ha⁻¹, já o P, com valores entre 1,3 a 2,6 kg ha⁻¹ foi o que apresentou a menor exportação dentre os macronutrientes avaliados. O K com exportação que variou de 18,8 a 40,5 kg ha⁻¹, sem dúvida, assim com o N são os elementos que mais merecem atenção. A exportação de Ca e Mg, que variou, respectivamente de 7,3 a 15,4 kg ha⁻¹ e 5,1 a 8,8 kg ha⁻¹, também merecem atenção.

Dentre os compartimentos analisados, verificou-se que as folhas foram as responsáveis pelo maior volume de nutrientes exportados. REISSMANN *et al.* (1983) e LOURENÇO *et al.* (1997) salientam que na cultura da erva-mate que têm suas folhas como produto final é grande a exportação de nutrientes por este compartimento.

Os talos, apesar de representarem o menor volume de biomassa dentre os compartimentos, mesmo assim o teor de nutrientes exportado é expressivo. A

variação da exportação de N, P, K, Ca e Mg pelos talos foram respectivamente de 5,2 a 9,4; 0,4 a 0,8; 4,9 a 9,0; 3,3 a 7,9 e 1,6 a 2,9 kg ha⁻¹.

Os galhos, apesar de representarem o maior volume de biomassa entre os compartimentos, devido seus baixos teores de nutrientes, a exportação média de N, P, e K, respectivamente de 8,0 a 14,5; 0,7 a 1,3 e 4,5 a 9,0 kg ha⁻¹ foi menor que o das folhas. Já para o Ca e Mg, com uma variação respectivamente de 3,9 a 7,0 e 1,4 a 2,6 kg ha⁻¹ foram os menos exportados entre os compartimentos. O fato da erva-mate se desenvolver muito bem em solos ácidos e não responder a calagem, não significa que após sucessivas colheitas esta cultura não venha apresentar deficiência desses elementos ao longo do tempo.

A atividade de exploração da erva-mate com a colheita de folhas e ramos finos representa um fluxo considerável de saída de nutrientes do local de produção (WISNIEWSKI *et al.*, 1996). Independente do compartimento colhido (folhas, talos e galhos), a quantidade exportada de nutrientes deve sempre ser reposta, para no mínimo manter a produtividade do erval.

4.3.4.2 Diferença entrada e saída de macronutrientes

Ao comparar a diferença entre a quantidade adicionada com a exportada de nutrientes pela colheita de folhas, talos e galhos (Tabela 4.9), fica muito mais nítida a necessidade da reposição destes. Esta evidência já é notória, apenas considerando a exportação de nutrientes pelas folhas verificado através dos valores negativos do tratamento 0 para o N, P e K e para o N no tratamento 50.

Na exportação de nutrientes pelas folhas e talos, verificou-se que para a dose de 50%, o N e o K e, para a dose de 100% da recomendada apenas para o N, a saída pela colheita foi maior que a entrada pelo fertilizante aplicado. Durante o processo da colheita, juntamente com as folhas os talos também saem do sítio exportando consigo grandes quantidades de N, P, K, Ca e Mg, como verificado em alguns trabalhos com esta espécie (REISSMANN; ROCHA; KOEHLER, 1983; REISSMANN *et al.*, 1985; CAMPOS, 1991; WISNIEWSKI *et al.*, 1996).

TABELA 4.9 - QUANTIDADE ADICIONADA E DIFERENÇA ENTRE A ENTRADA MENOS A EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES POR TRATAMENTO (TRAT) FOLHAS, TALOS¹ E GALHOS².

TRATAMENTO							ENTRADA MENOS SAÍDA				
TRAT ⁵	QUANTIDADE ADICIONADA					COMPARTIMENTO*	N	P	K	Ca	Mg
	N	P	K	Ca ³	Mg ⁴						
----- Kg ha ⁻¹ -----							----- Kg ha ⁻¹ -----				
0	0,0	0,0	0,0	253,4	159,4	Folhas	-24,8	-1,3	-18,8	246,1	254,3
						Folhas + talos	-30,0	-1,7	-23,7	242,8	252,7
						Folhas + talos + galhos	-38,0	-2,4	-28,2	238,9	251,3
50	25,0	4,4	33,3	253,4	159,4	Folhas	-11,7	2,5	5,9	243,6	151,9
						Folhas + talos	-18,8	1,9	-0,9	233,8	144,4
						Folhas + talos + galhos	-29,8	0,9	-7,1	228,5	142,4
100	50,0	8,7	66,7	253,4	159,4	Folhas	2,5	6,4	31,5	239,7	150,6
						Folhas + talos	-6,1	5,7	23,3	232,5	148,0
						Folhas + talos + galhos	-19,4	4,5	15,8	226,0	145,6
150	75,0	13,1	100,0	253,4	159,4	Folhas	19,8	10,5	59,5	238,0	151,0
						Folhas + talos	10,4	9,7	50,5	230,1	148,1
						Folhas + talos + galhos	-4,1	8,4	42,3	223,1	145,5

¹ Galhos finos que saem junto com as folhas durante a colheita; ² galhos mais grossos que sobram do processo da colheita; ³ Teor de 36% de CaO, sem considerar o Ca presente no superfosfato triplo; ⁴ teor de 27% de MgO para calcário dolomítico PRNT (poder relativo de neutralização total) de 100%; * Das folhas deste trabalho e de talos e galhos do trabalho de Campos (1991), para a colheita da safra do erval de 9 anos de idade e ⁵ Percentagem da recomendação de NPK para a cultura da erva-mate com expectativa de rendimento maior que 12 t ha⁻¹ de massa verde (SBCS, 2004)

Quando se considerou a saída do local de produção as folhas, talos e galhos, mesmo com a aplicação da dose máxima de NPK esta foi insuficiente para compensar a saída de N. Desta forma, o manejo dos galhos que sobram da colheita é muito importante para amenizar o impacto da exportação de nutrientes do sítio

Na maioria das vezes, os galhos que sobram da colheita da erva-mate e ficam espalhados no erval, tornam-se um empecilho para a limpeza da área. Neste caso há produtores que amontoam estes galhos na beira de estradas ou aceiros. Normalmente em pequenas propriedades, esses galhos também são muito utilizados como fonte de energia na propriedade. Nestas situações, o impacto da exportação de nutrientes não está somente condicionado à saída de folhas e talos, mas de toda a biomassa produzida pela planta a cada intervalo de colheita.

Num trabalho de quantificação de biomassa e nutrientes em erval com 11 anos de idade, Berger (2006), observou que dos compartimentos madeira (galhos grossos), folhas (folhas e talos), galhos finos e casca, a percentagem de N, P, K, Ca e Mg encontrada nas folhas em relação ao total foi de 57, 44, 49, 36 e 44%, respectivamente. Observa-se que neste caso, a parte comercial da colheita de erva-

mate representa menos da metade do total dos nutrientes exportados, sendo que, quando são retirados do erval todos os componentes da colheita, o impacto da saída de nutrientes pode ser duas vezes maior, quando comparado a saída somente das folhas.

Neste contexto, a fertilidade do solo merece atenção especial, principalmente relacionada aos níveis de MO e de P no solo. Segundo Silva e Mendonça (2007) a MO é um componente chave para a manutenção da qualidade física, química e biológica dos solos e, como consequência, para a sustentabilidade dos sistemas produtivos no médio e longo prazo. Sendo que, em condições de baixos níveis no solo, sua recuperação normalmente poderá levar vários anos ou até algumas décadas (SÁ, 2004). Levando em consideração que cerca de 95% do N do solo está associado a MO (SILVA; MENDONÇA, 2007) e por este elemento ser o mais exportado pela colheita de erva-mate, sua reposição é essencial.

Esta mesma hipótese vale para o P, que em condições de baixos níveis no solo, principalmente em solos mais argilosos e intemperizados, grande parte deste elemento permanece fortemente ligado a óxidos de Fe e Al e, pouco disponível para as plantas (ROLIM NETO *et al.*, 2004). Em alguns casos, segundo Gonçalves *et al.* (1985), quando se aplica uma fonte solúvel de P no solo, frequentemente mais de 90% deste é adsorvido na primeira hora de contato com o solo, permanecendo pequenas frações disponíveis para as plantas.

Mesmo sendo pequena a exportação de P pela biomassa de erva-mate, após sucessivas colheitas, associado aos baixos níveis naturais no solo, este elemento poderá tornar-se um fator limitante para a manutenção da produção caso não seja repostado.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para entender melhor o comportamento do teor foliar dos minerais, os futuros trabalhos devem levar em consideração não apenas o comportamento nutricional da erva-mate em função dos tratamentos, mas sim, de outras espécies vegetais presentes. Além disto, devem-se testar doses individuais de cada elemento. Com certeza, as dificuldades para realizar estudos que visem a dinâmica de uma maior gama de espécies são muito maiores, se comparadas a estudos individuais de cada

espécie. Esta pode ser a justificativa de até o momento não se ter registro de trabalhos com fertilização em ervais adensados.

Para novos trabalhos a serem realizados que visem a nutrição da cultura da erva-mate, a quantificação dos nutrientes de todos os componentes envolvidos no processo de colheita (folhas, ramos finos e grossos) é de extrema importância. Com isto, no futuro talvez se possa oferecer uma recomendação de fertilização para diferentes tipos de manejo da cultura.

É sabido que o crescimento e desenvolvimento das plantas, dentre vários fatores, está diretamente associado à fertilidade do solo (CANTARUTTI *et al.*, 2007), sendo que, a produtividade é reflexo do suprimento do nutriente em menor disponibilidade para as plantas (LOPES; GUILHERME, 2007). Embora a Lei do Mínimo tenha sido estabelecida em 1862 por Leibig, para a cultura da erva-mate ainda está longe de ser aplicada. Pois, levando em consideração o ciclo da cultura, aliado a enfoques momentâneos das escassas pesquisas desenvolvidas, a missão de estabelecer o nível nutricional ótimo da espécie ainda levará muitos anos a ser concretizada.

Diante dos resultados obtidos, e enquanto não houver trabalhos conclusivos sobre a relação da adubação nas características sensoriais do produto comercial, deve-se no mínimo recomendar a reposição dos nutrientes exportados pela colheita. Por outro lado, é inadmissível que, em condições de ervais em plena produção, pessoas habilitadas a interpretar laudos de solos incentivem os produtores a não repor os nutrientes exportados pela colheita ou recomendem doses formuladas de NPK sem levar em conta a produção do erval e o nível de fertilidade do solo.

Mesmo em condições de ervais adensados, quando a saída de nutrientes pela colheita da erva-mate for maior que a disponibilidade de nutrientes através da ciclagem promovida por outras espécies presentes ou pela liberação natural do solo, a reposição de nutrientes é uma questão de sustentabilidade desta cultura.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 645-736.
- ALVES, A. C.; BRAUNER, J. L.; CORDEIRO, D. S.; ZONTA, E. P.; CORREA, L. A. V. Exigências nutricionais em potássio, cálcio e magnésio do sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 5, p. 529-536, 1988.
- BARCELO, J.; POSCHENRIEDER, C. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p.75-92, 2002.
- BERGER, G. **Biomassa e nutrientes em plantios de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) no município de Nova Prata, RS. Santa Maria**. 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- BOEGER, M. R. T.; WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C. B. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estádios sucessionais de floresta ombrófila densa no sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 19, n.1, p.167-181, 2005.
- BÜLL, L. T.; BOARETTO, A. E.; MELLO, F. A. F.; SOARES, E. Influência da relação K/(Ca+Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosa forrageiras: II. Absorção de potássio em função da relação K/(Ca+Mg) no complexo de troca do solo. **Científica**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 67-75, 1993.
- BÜLL, L. T.; NAKAGAWA, J. Desenvolvimento, produção de bulbos e absorção de nutrientes na cultura do alho vernalizado em função de relações cálcio:magnésio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 409-415, 1995.
- BÜLL, L. T.; VILLAS BÔAS, R. L.; NAKAGAWA, J. Variações no balanço catiônico do solo induzidas pela adubação potássica e efeitos na cultura do alho vernalizado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 3, p. 456-464, 1998.
- BURSLEM, D. F. R. P.; GRUBB, P. J.; TURNER, I. M. Responses to nutrient addition among shade-tolerant tree seedlings of lowland tropical rain forest in Singapore. **The Journal of Ecology**, Danvers, v. 83, n. 1, p. 113-122, 1995.
- CALDEIRA, M. V. W.; NETO, R. M. R.; SCHUMACHER, M. V. Acúmulo e exportação de micronutrientes em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) procedência Bodalla – Austrália. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 1, p. 73-78, 2002.

CALDEIRA, M. V. W.; NETO, R. M. R.; SCHUMACHER, M. V.; WASTZLAVICK, L. F. Exportação de nutrientes em função do tipo de exploração em um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 97-104, 2002.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; TEDESCO, N.; SANTOS, E. M. Ciclagem de nutrientes em *Acacia mearnsii* De Wild. V. quantificação do conteúdo de nutrientes na biomassa aérea de *Acacia mearnsii* De wild. procedência Australiana. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 977-982, 2000.

CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, F. L.; SOARES, R. V.; VALÉRIO A. F. Teores de micronutrientes em espécies arbóreas da floresta ombrófila mista montana – General Carneiro/PR. **Ambiência**, Brasília, v. 2, n. 1, p. 29-50, 2006.

CAMPOS, M. A. A. **Balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*. Avaliação na safra e na safrinha**. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, F. N.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 769-850.

CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; PAVINATO, A. Manejo da adubação. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 851-872.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 91-132.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327-354.

DESER - Departamento de Estudos Sócio-Econômicos Rurais. A Cadeia Produtiva da Erva- Mate. **Informativo de Conjuntura Agrícola e Comercialização do Alto Uruguai**. Curitiba, n.3, 2001. 13p.

EATON, J. S.; LIKENS, G. E.; BORMANN, F. H. Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwood forest. **Journal of Ecology**, Danvers, v. 61, p. 495-508, 1973.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**: o estudo do que está por trás do que se vê. 3. ed. Passo Fundo: Editora Universidade de Passo Fundo, 2006. 751 p.

FOSSATI, L. C. **Avaliação do estado nutricional e da produtividade de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. 113 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

FOSSATI, L. C.; SOUSA, A. M.; REISSMANN, C. B. Níveis foliares de nutrientes e alumínio em erveiras masculinas e femininas. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 3., 2003, Chapecó. **Anais...** Chapecó: Ed. News Print, 2003. 1 CD-ROM.

FOY, C. D.; CHANEY, R. L. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 29, p. 511-566, 1978.

FURLANI, A. M. C.; CLARK, R. B.; MARANVILLE, J. W.; ROSS, W. M. Sorghum genotype differences in phosphorus uptake, phosphorus efficiency, phosphorus mobilization and utilization. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 7, n. 7, p. 1113-1126, 1984.

FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V. de; VALE, F. R. do; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 01-12, 1999.

GARRIDO FILHA, I. Manejo florestal: questões econômico-financeiras e ambientais. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 45, p. 91-106, 2002.

GIANELLO, C.; GIASSON, E. Fatores que afetam o rendimento das culturas e cultivos. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 21-32.

GILMOUR, J. T. The Effects of Soil Properties on Nitrification and Nitrification Inhibition. **Soil Science Society of America Journal**, Madison v. 48, n. 6, p. 1262-1266, 1984.

GONÇALVES, J. L. M.; FIRME, D. J.; NOVAIS, R. F.; RIBEIRO, A. C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de serrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, p. 107-111, 1985.

HINSINGER, P.; PLASSARD, C.; TANG, C.; JAILLARD, B. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 248, p. 43-59, 2003.

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 20, p. 1-50, 2005.

JORDAN, C. F. **Nutrient cycling in tropical forest ecosystems**. New York: John Wiley, 1985. 190 p.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Boca Raton, London: CRC Press, 2000. 331 p.

KIKUI, S.; SASAKI, T.; OSAWA, H.; MATSUMOTO, H.; YAMAMOTO, Y. Malate enhances recovery from aluminum-caused inhibition of root elongation in wheat. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 290, n. 1-2, p. 1-15, 2007.

KUHN, A. J.; BAUCH, J.; SCHRÖDER, W. H. Monitoring uptake and contents of Mg, Ca and K in Norway spruce as influenced by pH and Al, using microprobe analysis and stable isotope labelling. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 168/169, n. 1, p.135-150, 1995.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 01-64.

LOURENÇO, R. S. Adubação da erva-mate. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo. EMBRAPA/CNPQ, 1997. p. 299-315.

MA, J. F.; RYAN, P. R.; DELHAIZE, E. Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids. **Plant Science**, Bethesda, v. 6, n. 6, p. 273-278, 2001.

MACCARI JUNIOR, A. **Análise do pré-processamento da erva-mate para chimarrão**. 215 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 319 p.

MALINOVSKI, R. A.; BERGER, R.; SILVA, I. C.; MALINOVSKI, R. A.; BARREIROS, R. M. Viabilidade econômica de reflorestamentos em áreas limítrofes de pequenas propriedades rurais no município de São José dos Pinhais – PR. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 2, p. 261-274, 2006.

MANFIO, D. A. **Safra Paranaense 2005/2006**. Curitiba: SEAB/DERAL, 2008. 72 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARSCHNER, H.; KIRKBY, E. A.; ÇAKMAK, I. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 47, p. 1255-1263, 1996.

MEDRADO, M. J. S.; LOURENÇO, R. S.; RODIGHIERI, H. R.; DEDECEK, R. A.; PHILIPPOVSKY, J. F.; CORREA, G. **Implantação de ervas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000, 26 p. (Circular Técnica, 41).

MELO, V. F.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M.; NOVAIS, R. F.; FONTES, M. P. F. Formas de potássio e magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com o conteúdo na planta e com a produção de plantios de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 165-171, 1995.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4. ed. Worblaufen-Bern: International Potash Institute, 1987. 665 p.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 65-90.

MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M.; REISSMANN, C. B.; DIONÍSIO, J. A. **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta**. Curitiba: edição do autor, 2007. 246 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV, DPS, 1999. 399p.

OLIVA, E. V. **Composição química e produtividade de procedências e progênes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivada em latossolo vermelho distrófico no município de Ivaí - PR**. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

OLIVA, E. V.; REISSMANN, C. B.; GAIAD, S.; STURION, J. A.; OLIVEIRA, E. B. de; WISNIEWSKI, C.; MIAQUI, D. P. Composição química foliar de macronutrientes em procedências de erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil. In: CONGRESO SUDAMERICANO 4; REUNIÓN TÉCNICA 4 E EXPOSICIÓN DE AGRONEGOCIOS DE LA YERBA MATE 2, 2006, Posadas. **Actas...** Posadas, Misiones, 2006. p. 285-289.

OLIVEIRA, A. D. de; LEITE, A. P.; BOTELHO S. A.; SCOLFORO, J. R. S. Avaliação econômica da vegetação de cerrado submetida a diferentes regimes de manejo e de povoamentos de eucalipto plantado em monocultivo. **Cerne**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 34-56, 1998.

PANDOLFO, M. C.; FLOSS, P. A.; Da CROCE, D. M.; DITTRICH, R. C. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um Latossolo Vermelho aluminoférrico. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 37-45, 2003.

PENDIAS, A. K.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 2. ed. Washington: CRC Press, 2000. 331 p.

PINTRO, C. J.; MATUMOTO-PINTRO, P. T.; SCHWAN-ESTRADA. Crescimento e desenvolvimento de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil) cultivadas em solo sob diferentes níveis de fertilidade. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 20, n. 3, p. 285-289, 1998.

PRITCHETT, W. L. **Suelos forestales**: propiedades, conservación y mejoramiento. Mexico: John Wiley and Sons, 1990. 634 p.

RADOMSKI, M. I.; SUGAMOSTO, M. L.; GIAROLA, N. F. B.; CAMPIOLO, S. Avaliação dos teores de macro e micronutrientes em folhas jovens e velhas de erva-mate nativa. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 4, Ed. Especial, p. 453-456, 1992.

RAKOCEVIC, M.; VALDUGA, T. A.; MEDRADO, M. J. S. As propriedades ecofisiológicas, químicas e sensoriais de folhas provenientes de plantas de erva-mate com e sem frutificação. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 3., 2003, Chapecó. **Anais...** Chapecó: Ed. News Print, 2003. 1 CD-ROM.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS R. F. (Ed.). **Relação solo eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. p. 265-301.

REISSMANN, C. B.; CARNEIRO, C. Crescimento e composição química da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), transcorrido oito anos de calagem. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 281-386, 2004.

REISSMANN, C. B.; KOEHLER, C. W.; ROCHA, H. O. da; HILDEBRAND, E. E. Avaliação da exportação de macronutrientes pela exportação da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS. Sivicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil). Curitiba, 1985, **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPF, 1985. p. 128-139.

REISSMANN, C. B.; KOEHLER, C. W.; ROCHA, H. O. da; HILDEBRAND, E. E. Níveis foliares e exportação de micronutrientes pela exploração da erva-mate. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 9, n. 1/2, p. 103-106, 1987.

REISSMANN, C. B.; PREVEDELLO, B. M. S.; DE QUADROS, R. M. B.; RADOMSKI, M. I. Production and foliar N, P, K, Ca and Mg liveis in erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) related to increasing base saturation levels. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 40, n. 1, p. 241-249, 1997.

REISSMANN, C. B.; PREVEDELLO, B. M. S.; TREVISAN, E.; BORN, R. H. Suscetibilidade da erva-mate à clorose induzida pela calagem. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 11, n. 1/2, p. 273-278, 1991.

REISSMANN, C. B.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. de. Chemical composition of *Ilex paraguariensis* St. Hil. Under different management conditions in seven localities of Paraná State. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 187-194, 1999.

REISSMANN, C. R.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. de. Relação entre os teores e a fração hidrossolúvel dos elementos K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn e Al em folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 37, n. 4, p. 959-971, 1994.

REISSMANN, C. B.; ROCHA, H. O da; KOEHLER, C. W. Bioelementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) sobre cambissolo na região de Mandirituba – PR. Curitiba. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 14, n. 2, p. 49-54, 1983.

RIZZARDI, M. A.; FLECK, N. G.; VIDAL, R. A.; MEROTTO JUNIOR, A.; AGOSTINETTO, D. Competição por recursos do solo entre ervas daninhas e culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 707-714, 2001.

ROBASSA, J. C.; REISSMANN, C. B.; MACCARI JUNIOR, A. Teores de Fe, Mn, Cu e Zn em três morfotipos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 3., 2003, Chapecó. **Anais...** Chapecó: Ed. News Print, 2003. 1 CD-ROM.

ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 953-964, 2004.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 301-309, 2003.

SÁ, J. C. M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafós, 2004. p. 201-222.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; BRONDANI, G. E.; REISSMANN, C. B.; ORUUTÉA, A. G.; ROVEDA, L. F. Nitrogênio, fósforo e potássio no crescimento de mudas de erva-mate. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 59-66, 2008.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; BRONDANI, G. E.; REISSMANN, C. B.; ROVEDA, L. F.; WENDLING, I. Calagem no Crescimento de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Resumos...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1-5.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SCHUMACHER, M. V. Estudo da biomassa e dos nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) subespécie *bicostata*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 281-286, 1998.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão De Química E Fertilidade Do Solo. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

SOSA, D. A. Fertilización química, abonos, requerimientos nutricionales. In: CURSO DE CAPACITACION EM PRODUCCION DE YERBA MATE, 2., 1994, Cerro Azul. **Cursos...** Cerro Azul: INTA, 1994. p. 68-90.

SPANGENBERG, A.; GRIMM, U.; SILVA, J. R. S.; FÖLSTER, H. Nutrient store and export rates of *Eucalyptus urograndis* plantations in eastern Amazonia (Jari). **Forest ecology and management**, Amsterdam, v. 80, n. 1, p. 225-234, 1996.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

SOUZA, J. L. M.; ARAUJO, M. A. de; REISSMANN, C. B.; MACARRI JÚNIOR, A.; WOLF, C. S. Teores de nutrientes foliares em plantas de erva-mate em função da posição e orientação geográfica da copa, em Guarapuava-PR. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 49-58, 2008.

WISNIEWSKI, C.; JINZENJI, F.; CLARO, A. M.; SOUZA, R. M. Exportação de biomassa e macronutrientes com a primeira poda de formação da erva-mate na região de Pinhais-PR. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 15, n. 2, p. 179-186, 1996.

WISNIEWSKI, C.; RACHWAL, M.F.G.; CURCIO, G.R.; GOMES, E.P. Avaliação nutricional e exportação de nutrientes pela erva-mate plantada em diferentes ambientes. In: FOREST'99 - INTERNATIONAL CONGRESS AND EXHIBITION ON FOREST, 5, 1999, Curitiba. **Resumos expandidos ...** Curitiba, 1999. 1 CD-ROM.

ANEXOS 02

TABELA 1 - INTERPRETAÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA NO SOLO E ADUBAÇÕES DE PLANTIO, COBERTURA E REPOSIÇÃO DE N PARA A CULTURA DA ERVA-MATE

TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA NO SOLO	PLANTIO	COBERTURA	REPOSIÇÃO DE NITROGÊNIO		
			ESPECTATIVA DE RENDIMENTO (t ha ⁻¹) ⁽¹⁾		
			< 6	6 a 12	> 12
%	----- Kg de N ha ⁻¹ -----				
≤ 2,5	40	30	30	60	90
2,6 – 5,0	30	20	20	50	60
> 5	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 30	≤ 50

⁽¹⁾ MASSA VERDE POR HECTARE.

FONTE: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (2004)

TABELA 2 - INTERPRETAÇÃO DO TEOR DE P E K NO SOLO, ADUBAÇÕES DE PLANTIO E DE COBERTURA DE P E, DE PLANTIO E COBERTURA DE K PARA A CULTURA DA ERVA-MATE

TEOR DE P E K NO SOLO	FÓSFORO		POTÁSSIO		REPOSIÇÃO DE POTÁSSIO		
	REPOSIÇÃO		ESPECTIVA DE RENDIMENTO		(t ha ⁻¹) ⁽¹⁾		
	PLANTIO	REPOSIÇÃO	PLANTIO	COBERTURA	< 6	6 a 12	> 12
	Kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹		-----		Kg de K ₂ O ha ⁻¹ -----		
Muito baixo	30	20	40	30	50	80	100
Baixo	20	20	30	20	40	70	90
Médio	≤ 20	20	20	10	30	60	80
Alto	---	20	10	≤ 10	20	40	60
Muito alto	---	≤ 20	≤ 10	0	≤ 20	≤ 40	≤ 60

⁽¹⁾ MASSA VERDE POR HECTARE.

FONTE: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (2004)

TABELA 3 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O RENDIMENTO (MASSA VERDE) E PESO SECO DE 100 FOLHAS DE ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK

CAUSA DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO		
		RENDIMENTO		PESO 100 FOLHAS
		----- Kg ha ⁻¹ -----	----- % -----	----- g -----
Tratamento	3	5029021,941**	2492,588**	196,852**
Regressão (grau)	1º	14161841,910**	6419,578**	478,642**
	2º	2598,544 ^{ns}	104,652 ^{ns}	84,681**
	3º	922625,280 ^{ns}	953,534*	27,232*
Erro	27	320278,541	150,057	4,510
Média	---	746,5	17,7	48,2
CV%	---	75,8	69,0	4,4

TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO, ANTES (2006) E APÓS (2007) A APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO DA ÁREA DO EXPERIMENTO COM EM ERVA-MATE, SÃO MATEUS DO SUL-PR

ÉPOCA	TRAT	pH		H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	T
		CaCl ₂	SMP	----- cmol _c dm ⁻³ -----					
2006	-----	3,7	4,1	19,9	7,2	0,47	0,27	0,89	20,8
	T1	3,8	4,5	17,0	7,3	0,65	0,40	1,22	18,2
2007	T2	3,7	4,3	18,3	7,4	0,55	0,30	1,02	19,3
	T3	3,7	4,3	17,6	7,3	0,55	0,25	0,93	18,5
	T4	3,7	4,4	17,0	7,3	0,45	0,25	0,91	18,0
----	----	K ⁺	P	MO	V	m	SILTE	ARGILA	Ca/Mg
----	----	--- mg dm ⁻³ ---		----- % -----					
2006	-----	60	4,5	5,9	4	89	45	49	1,8
	T1	64	2,7	5,5	7	86	42	55	1,8
2007	T2	68	3,2	5,5	6	87	38	60	2,2
	T3	68	4,3	4,4	5	88	42	53	2,8
	T4	76	4,0	4,8	5	89	35	60	1,8

5 CAFEÍNA, TEOBROMINA E HIDROSSOLÚVEIS MINERAIS

5.1 INTRODUÇÃO

O produto da erva-mate, à base de folhas secas sempre foi apreciado por povos sul-americanos, através do hábito do chimarrão, do tererê e do chá-mate. Nos últimos anos tem despertado o interesse da comunidade científica por seus efeitos benéficos à saúde humana.

O mate, além de ser considerado elemento indissociável da dieta alimentar de populações do sul do Brasil, sempre foi considerado como tendo valor terapêutico. Sob esta visão, a erva-mate pode ser considerada também como planta medicinal e como matéria-prima farmacêutica potencial (ATHAYDE; COELHO; SCHENKEL, 2000). A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que 80% da população mundial utiliza plantas medicinais como principal recurso no atendimento básico da saúde (YUNES; CECHINEL, 2001).

Dentre vários produtos de sua constituição a erva-mate apresenta compostos minerais e metabólicos secundários de interesse para o ser humano. Esta espécie apresenta a característica de acumular alcalóides em sua composição química. Este fato estimula o interesse na determinação do teor destes compostos, em especial a cafeína (VALDUGA, 1995; REGINATTO *et al.*, 1999).

Como nos tempos atuais os estudos relacionados à nutrição da cultura da erva-mate são deficitários, até o momento, não se tem dados de como se comporta o teor de cafeína e teobromina e, quanto é extraído via hidrossolúvel de elementos minerais em produto oriundo de ervais adensados fertilizados.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar o teor foliar de cafeína e teobromina e, comparar a extração via hidrossolúvel com a extração total de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Al e Na em erva-mate de erval adensado e adubado quimicamente

5.2 REVISÃO DE LITERATURA

5.2.1 Cafeína e teobromina

Vários são os produtos do metabolismo secundário já relatados para a erva-mate, como ácidos fenólicos, ácido caféico, ácido clorogênico, ácido 3,4-dicafeoilquínico, ácido 3,5-dicafeoilquínico, ácido 4,5-dicafeoilquínico, flavonóides (FILIP *et al.*, 2001), saponinas triterpênicas (SCHENKEL *et al.*, 1997) e metilxantinas, onde se destacam a cafeína e teobromina (REGINATTO *et al.*, 1999).

Os alcalóides constituem uma grande família com mais de 15 mil metabólitos secundários nitrogenados, encontrados em aproximadamente 20% das espécies de plantas vasculares, conferindo-lhes proteção contra vários herbívoros (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A cafeína e a teobromina são alcalóides que, juntamente com a teofilina, estão relacionados e encontrados na erva-mate. São compostos mais interessantes sob o ponto de vista farmacológico e terapêutico e, freqüentemente, são denominados “derivados de xantinas” (VALDUGA, 1995).

A cafeína é um dos alcalóides com atividade biológica, dos quais é o mais ingerido no mundo. Apresenta ação farmacológica variada provocando, dentre outros efeitos, alterações no sistema nervoso central e no sistema cardiovascular e homeostase de cálcio. Os efeitos da cafeína sobre o comportamento humano têm sido objeto de estudos há algumas décadas (DE MARIA; MOREIRA, 2007).

Na agricultura, a adição de nutrientes é geralmente empregada para aumentar a produção de biomassa (GOBBO-NETO; LOPES, 2007). Porém, a disponibilidade de nutrientes afeta não somente o metabolismo primário, mas também influencia a produção de diferentes metabólitos secundários (GERSHENZON, 1984). Estes efeitos, de certo modo, não são totalmente previsíveis, sendo que o entendimento deste comportamento ainda não está bem claro (BOWERS; STAMP, 1993).

A cafeína contida nos tecidos de plantas de erva-mate pode estar associada com a atividade celular em tecidos novos, ou em aqueles com alta atividade metabólica (flor, frutos e folhas em pleno crescimento). Neste caso, podem apresentar maior conteúdo de cafeína, do que o observado em plantas ou tecidos maduros (ASHIHARA, 1993). Outros fatores podem influenciar na composição

química da erva-mate, como, tipo de solo, idade da planta, época de coleta, características climáticas (BERTONI *et al.*, 1992), aspectos fenotípicos da espécie (BORILLE; REISSMANN; DE FREITAS, 2005), diferente intensidade de luz (RAKOCEVIC *et al.*, 2006) e diferentes formas e doses de fertilização (ZAMPIER, 2001).

Pouco são os estudos que tentam explicar os fatores que influenciam o nível de compostos químicos na erva-mate. Sendo que, em alguns casos, os resultados de pesquisas se contradizem. Para Rachwal *et al.* (2002) o nível de luminosidade não alterou os teores de teobromina, porém os teores de cafeína aumentam com o aumento da luminosidade. Já Rakocevic *et al.* (2006), verificaram que erva-mate a pleno sol apresentaram maior teor de teobromina e menor de cafeína, quando comparadas a plantas sombreadas por floresta. Andrade (2004) verificou que, plantas a pleno sol ou com excesso de sombra apresentaram maior teor de cafeína quando comparadas as com níveis intermediários de luminosidade. Os valores médios de cafeína e teobromina normalmente encontrados em erva-mate variam respectivamente de 0,11 a 2,23 g 100 g⁻¹ e 0,12 a 0,49 g 100 g⁻¹ (Tabela 5.1).

TABELA 5.1 - TEORES DE CAFEÍNA E TEOBROMINA OBTIDAS EM ERVA-MATE POR ALGUNS AUTORES

CAFEÍNA ----- g 100g ⁻¹ -----		TEOBROMINA -----	AUTOR E FONTE DE VARIAÇÃO*
(0,29 a 0,79) 0,54		----	Mazzafera (1997) ¹
0,65		0,12	Reginatto <i>et al.</i> (1999) ²
(0,11 a 1,32) 0,72		----	Zampier (2001) ³
(0,22 a 1,05) 0,64		----	Cardozo Junior <i>et al.</i> (2003) ⁴
(1,67 a 2,23) 1,95		(0,15 a 0,49) 0,32	Borille, Reissmann e De Freitas (2005) ⁵
(1,57 a 1,74) 1,66		(0,32 a 1,14) 0,73	Rakocevic <i>et al.</i> (2006) ⁶
Média	1,23	Média	0,39

* ¹ Procedências de SC e PR; ² plantas adultas; ³ mudas com diferentes fontes de adubação; ⁴ procedências do PR e RS, em diferentes épocas do ano; ⁵ diferentes morfotipos; ⁶ plantas jovens a campo em pleno sol e sombra

Borille (2004) trabalhou com plantas de diferentes morfotipos (amarelinha, cinza e sassafrás) de erva-mate. O autor observou que a cafeína estava presente em maiores concentrações no morfotipo sassafrás nas folhas jovens, e no morfotipo cinza nas folhas maduras. Já a teobromina estava mais concentrada no morfotipo cinza, tanto em folhas jovens quanto em folhas maduras.

Quanto ao fator fertilização, Zampier (2001) constatou que a orgânica proporcionou aumento no teor foliar de cafeína, quando comparada à aplicação de

NPK. Além disto, o teor de cafeína teve relação diretamente proporcional ao teor de nitrogênio nas folhas de erva-mate. Já para o potássio, o teor nas folhas foi inversamente proporcional ao teor de cafeína.

Embora com algumas exceções, pesquisas têm apresentado aumento no teor de alcalóides com fertilização nitrogenada (WALLER; NOWACKI, 1978), em alguns casos, a resposta pode variar de acordo com a fonte nitrogenada utilizada na fertilização (ZAMPIER, 2001). Sendo que, segundo Donaduzzi *et al.* (2000) é necessário estabelecer o controle de compostos químicos da erva-mate, principalmente os que influenciam as características comerciais do produto.

5.2.2 Teor de elementos e qualidade de produtos

Das folhas secas da erva-mate produz-se o tererê e o chimarrão (bebidas à base de erva-mate elaboradas respectivamente com água fria e quente) e com as folhas secas e torradas prepara-se o chá mate (MACHADO *et al.*, 2007). Esta planta chamou a atenção da comunidade científica nos últimos anos por seus efeitos benéficos à saúde humana, principalmente aqueles relacionados à atividade antioxidante e protetora frente a processos degenerativos como, por exemplo, os que levam ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares e a danos ao DNA (SCHINELLA, *et al.*, 2000; LUNCEFORD; GUGLIUCCI, 2005).

Com o aumento do consumo interno e abertura progressiva ao mercado externo, a erva-mate passou a ser vista com bons olhos por pessoas que anteriormente pouco a conheciam. Com isto novas formas de consumo são pesquisadas e há o lançamento de novos produtos no mercado. A qualidade de novos produtos está ligada a fatores como a produção de matéria-prima. Em alguns casos, a qualidade do produto está vinculada as características organolépticas e, conseqüentemente à composição química. Todos esses processos podem ser influenciados desde o beneficiamento realizado para obtenção do produto final, quanto aos tratos silviculturais para obtenção da matéria-prima (CÂMARA SETORIAL, 2000).

A qualidade de um produto, alimento ou bebida é resultante do conjunto de critérios que caracterizam a matéria-prima para o uso e aplicação industrial, a qual

se destina. Neste contexto, a qualidade da matéria-prima vegetal é a determinante da qualidade do produto final (SANTOS, 2004).

O sabor amargo da bebida com erva-mate pode ser atribuído a presença de diferentes concentrações e componentes químicos, assim como, compostos fenólicos que participam de processos bioquímicos responsáveis pela formação de cor, adstringência, aroma e sabor em alimentos de origem vegetal (SOARES, 2002).

A nutrição mineral da planta e os fatores edafoclimáticos da região de cultivo podem conferir variações nas concentrações das substâncias químicas presentes nas folhas e ramos, e posteriormente, no produto industrializado da erva-mate (MAZZAFERA, 1999). No entanto, assim como ocorrem interações entre elementos no solo que possam alterar sua disponibilidade para as plantas (BÜLL; VILLAS BÔAS; NAKAGAWA, 1998), processos semelhantes também podem ocorrer na planta. Marschner (1995) sugere que as interações dos elementos na planta podem ser da ordem competitiva (competição entre elementos por locais específicos na membrana plasmática), não-competitiva (há interferência entre elementos, porém sem apresentar competição por locais específicos na membrana plasmática) e metabólico (há interferência entre elementos, mas somente em processos metabólicos da planta). Em alguns casos, a alteração do teor de um determinado elemento na planta pode alterar sua mobilidade e sua estabilidade (EPSTEIN; BLOOM, 2004). Pois, segundo Kabata-Pendias e Kabata (2000), principalmente os íons metálicos normalmente tóxicos para as plantas são complexados de forma que se tornam mais estáveis e de difícil hidrólise.

Uma cultura em condições normais ou em deficiência nutricional, quando fertilizada, normalmente responde com aumento no teor foliar para a maioria dos minerais contidos na aplicação. Dentro desta lógica, Pandolfo *et al.* (2003); Reissmann e Carneiro (2004) também constataram aumento no teor foliar de elementos na cultura da erva-mate após fertilização. Porém, para a erva-mate que tem seus principais produtos de consumo baseados no chimarrão, tererê, refrigerantes e chás (CARVALHO, 2003; MACHADO *et al.*, 2007), não significa que o teor de elementos minerais totais encontrados no produto seja ingerido via infusão.

Na maioria das vezes a água (quente ou fria) é o principal meio de infusão e extração dos minerais presentes no produto de consumo. Nestas condições, devido os elementos nas plantas apresentarem diferentes funções e formas estruturais (EPSTEIN; BLOOM, 2004; MALAVOLTA, 1980), os minerais extraídos através da

água, normalmente apresentam grandes diferenças de extração entre elementos (RAMALLO *et al.*, 1997; REISSMANN; RADOMSKI; QUADROS, 1994).

O chimarrão é uma das principais formas de utilização da erva-mate, principalmente no sul do Brasil (MENDES, 2005), onde normalmente esta bebida é ingerida com temperatura média acima de 60 °C, podendo alcançar até 78 °C (BARROS *et al.*; 2000). Entretanto, mesmo em água a nível de fervura, a extração é bastante variável entre elemento e, todos ficam abaixo dos teores totais detectados por outros extratores (REISSMANN; RADOMSKI; QUADROS, 1994). Desta forma, segundo Heinrichs e Malavolta (2001), além dos estudos de nutrição da planta, também se torna importante o conhecimento dos elementos químicos que são consumidos pelo homem por meio da ingestão da bebida.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Teor foliar de cafeína e teobromina

A análise da variância mostrou efeito significativo, tanto para o teor foliar de cafeína como de teobromina em relação aos tratamentos (Anexos 3, Tabela 1). A cafeína mostrou-se bastante variável em relação às doses da fertilização (Figura 5.1 A), tendo teor mínimo de 1,16 g 100 g⁻¹ para as doses de 37% e teor máximo de 1,54 g 100 g⁻¹ para 118% da dose recomendada. Já a teobromina, decresceu linearmente à medida que as doses de fertilização aumentaram (Figura 5.1 B), tendo seu teor máximo de 0,45 g 100g⁻¹ na dose 0 e, teor mínimo de 0,30 g 100g⁻¹ para 150% da dose recomendada.

Observou-se que o teor de cafeína, próximo das doses 0 e 100% de NPK, apresentaram-se acima da média e, nas doses em torno de 50 e 150%, ficaram próximos da média verificados em outros trabalhos com esta espécie, conforme visto na Tabela 6.1. Esse comportamento oscilante também foi constatado por Cardozo Junior *et al.* (2003). Ao comparar o teor foliar de cafeína em progênies de erva-mate de diferentes procedências no estado do Paraná, os autores observaram diferença significativa entre procedências e entre progênies da mesma procedência. Desta forma, torna-se difícil atribuir o comportamento oscilante do teor de cafeína verificado neste trabalho (Figura 5.1 A), às doses de NPK aplicadas. Estas

oscilações podem ser provocadas por outras fontes de variação presentes no local do estudo, ou ser uma característica natural da própria espécie.

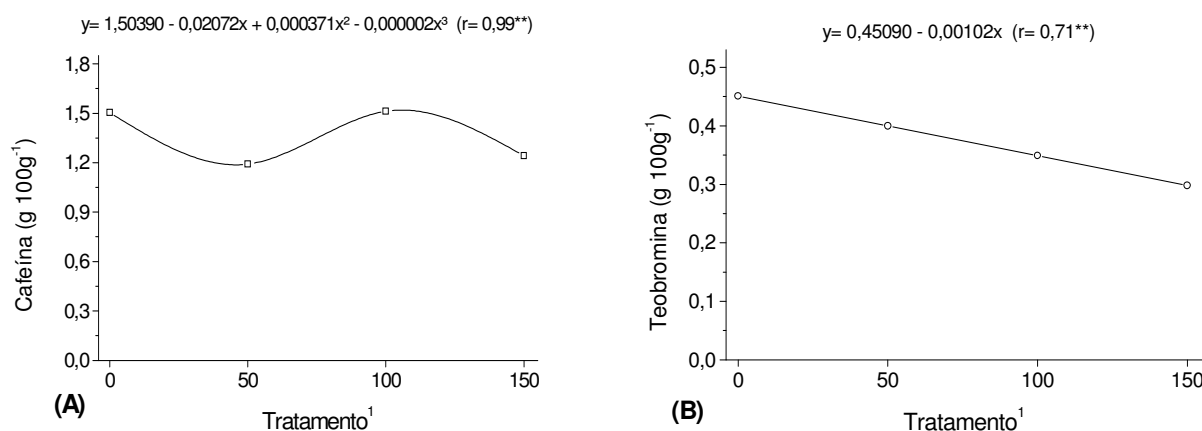


FIGURA 5.1 - (A) TEOR FOLIAR MÉDIO DE CAFEÍNA E (B) DE TEOBROMINA EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK; ** EFEITO SIGNIFICATIVO A 1% DE PROBABILIDADE, PELA ANÁLISE DE REGRESSÃO AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO; ¹ PERCENTAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NPK PARA A CULTURA DA ERVA-MATE COM EXPECTATIVA DE RENDIMENTO MAIOR QUE 12 t ha⁻¹ DE MASSA VERDE (SBCS, 2004)

O teor foliar da teobromina, na dose zero foi superior e na dose 150% da recomendada inferior a média dos trabalhos consultados (Tabela 5.1). De maneira geral, está coerente com o que normalmente é encontrado na erva-mate. Contudo, a redução da teobromina ocorreu proporcionalmente com o aumento das doses de NPK adicionadas ao solo. Neste caso, fica mais evidente a ação do nível dos nutrientes adicionados na redução do teor da teobromina do que nas oscilações do teor da cafeína.

Estudando a biossíntese de cafeína e teobromina por meio de enzimas em folha de chás, Suzuki e Takahashi (1974) verificaram que o Mg, Ca e Mn proporcionaram um pequeno aumento, no entanto o Cu e Hg inibiram fortemente e, o Co, Zn, Cd e Fe inibiram parcialmente a biossíntese desses alcalóides. Neste sentido, observa-se que o comportamento do teor total de Mn (Figura 5.4 A), com o teor foliar de cafeína na erva-mate (Figura 5.1 A) estão coerentes com os relatos desses autores. Ou seja, os picos de teores máximos e mínimos da cafeína e do Mn ocorreram de forma muito semelhante. Desta forma, a variação do teor foliar de cafeína, além de ocorrer naturalmente na erva-mate (CARDOZO JUNIOR *et al.*, 2003), pode estar relacionado com o teor total de Mn presente nas folhas desta espécie.

A disponibilidade de nutrientes afeta não somente o metabolismo primário, mas também influencia a produção de diferentes metabólitos secundários (GERSHENZON, 1984). De maneira geral, a produção de metabólitos secundários, exceto os nitrogenados, mostra uma correlação positiva com a proporção carbono/nutrientes. Em solos pobres em nutrientes e com menor taxa de crescimento das plantas, geralmente se verificam maior produção de metabólitos secundários, particularmente derivados de fenólicos (GERSHENZON, 1984; DUSTIN; COOPER-DRIVER, 1992).

A produção total de metabólitos nitrogenados na planta, principalmente de alcalóides, normalmente é aumentada com a maior disponibilidade de N no solo (GERSHENZON, 1984; HÖFT; VERPOORTE; BECK, 1996). Porém, esta hipótese não está totalmente comprovada, pois existem ainda muitos resultados controversos (IASON; HARTLEY; DUNCAN, 1993). Desta forma, os resultados deste trabalho mostram que, com o aumento das doses de NPK em erva-mate, a tendência é que o teor foliar de cafeína e teobromina diminuam.

Segundo Vance, Uhde-Stone e Allen (2003), condições de deficiência de P, normalmente resultam na acumulação de metabólitos secundários em plantas. Porém é comum observar resultados contraditórios com a adição deste elemento no solo (GERSHENZON, 1984).

Ainda com relação à produção de alcalóides Mazzafera (1999), estudando o efeito da omissão de nutrientes sobre o teor de cafeína em folhas de café (*Coffea arabica* L.), observou que a omissão de K proporcionou aumento de 12% no conteúdo de cafeína nas folhas. Já a ausência de P induziu uma redução de 20% no conteúdo desse alcalóide.

A constatação neste trabalho do menor teor de cafeína e teobromina para as maiores doses de NPK, quando comparado com o tratamento que não recebeu fertilização, indica possível efeito desses elementos na redução destes alcalóides na erva-mate. Por outro lado, o efeito de diluição conhecido como efeito de Steenbjerg (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989) também pode ter influenciado na redução desses alcalóides, principalmente na teobromina. Ou seja, mesmo que esses compostos se mantivessem com o mesmo teor, a medida que as doses de NPK estimularam o aumento da biomassa de erva-mate, a tendência foi reduzir o teor destes na biomassa. Esta hipótese pode ser fundamentada pelo aumento linear da

produção da erva-mate verde e do peso seco de 100 folhas, verificados anteriormente na Figura 5.1 A e B.

De certo modo, como não há registro de trabalhos neste nível com erva-mate, e os trabalhos com outras espécies apresentarem resultados contraditórios, torna-se difícil comprovar que a variação do teor de cafeína e a redução do teor de teobromina tenham ocorrido somente pela ação das doses de NPK, sem considerar um conjunto de fatores existentes no local.

5.3.2 Teores totais e hidrossolúveis de minerais em folhas de erva-mate

5.3.2.1 Comparação de teores minerais entre o método total e aquoso

A análise da variância mostrou efeito significativo entre os métodos de extração para P, K, Ca, Mg e Na (Anexos 3, Tabela 2). Para o Fe, Cu, Zn e Al, além do efeito significativo entre os métodos de extração, houve interação entre os métodos com doses (Anexos 3, Tabela 3).

A diferença do teor foliar de P, K, Ca, Mg e Mn extraído pela digestão total comparado com extração aquosa é bem clara (Figura 5.2 A e B), demonstrando o baixo potencial de extração do método aquoso quando comparado ao total.

A determinação analítica de elementos, que normalmente é dividida em teores totais e hidrossolúveis, geralmente apresenta potenciais diferentes de extração (MALAVOLTA, 1981). Este fato, neste trabalho é bem evidente, pois os teores extraídos de cada elemento entre os métodos total e aquoso são contrastantes. Este comportamento, também foi verificado por Reissmann, Radomski e Quadros (1994) em folhas de erva-mate e por Radomski e Wisniewski (2004) em espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*).

A análise dos elementos hidrossolúveis é um importante indicador dos minerais disponíveis nas bebidas, principalmente em espécies utilizadas em chás a partir da infusão de folhas em água quente (RADOMSKI; WISNIEWSKI; 2004). Para a erva-mate, onde a maioria de seu consumo é na forma de chimarrão e chás, a quantidade de minerais ingeridos junto às bebidas são importantes do ponto de vista da saúde humana. Isto porque, assim como esses elementos apresentam funções específicas para as plantas, o ser humano também os exige para funções vitais.

Desta forma, percebe-se que do total dos elementos encontrados nas folhas, durante a infusão de bebidas de erva-mate, boa parte destes elementos são ingeridos.

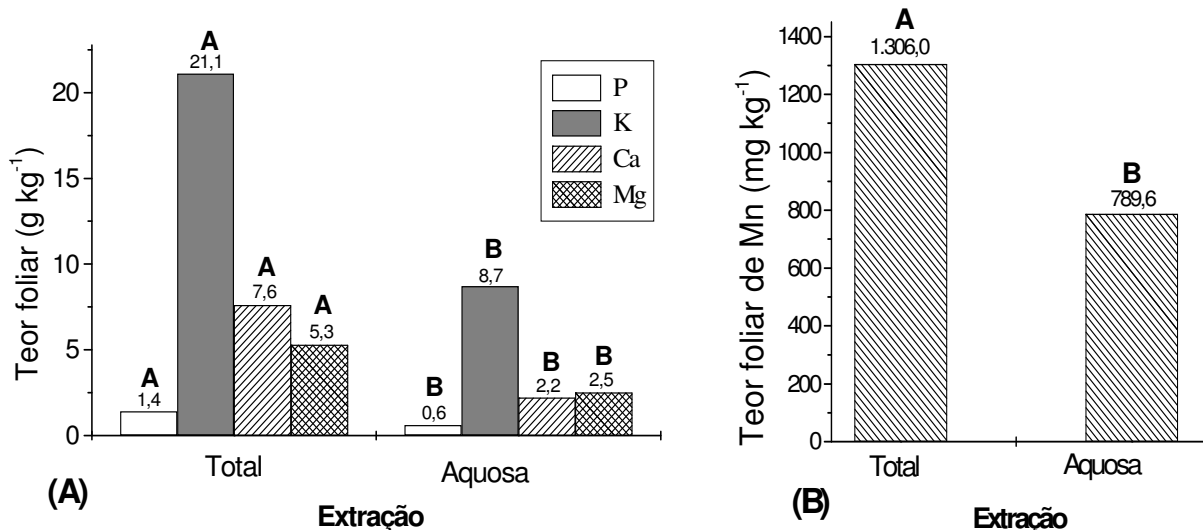


FIGURA 5.2 - (A) VALORES MÉDIOS DO TEOR FOLIAR DE P, K, Ca E Mg E (B) DE Mn EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK. MÉDIAS SEGUIDAS DE UMA MESMA LETRA MAIÚSCULA PARA EXTRAÇÃO TOTAL E AQUOSA NÃO DIFEREM ESTATISTICAMENTE PELO TESTE DE TUKEY AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO

Ao analisar os valores absolutos extraído pelo método aquoso quando comparado ao total, verificou-se grande variação de extração entre os elementos (Tabela 5.2). A percentagem extraída pelo método aquoso quando comparada a total para os minerais analisados foi de 44, 41, 29, 47, 10, 61, 65, 59, 54 e 87%, respectivamente para P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Al e Na. Demonstrando que o método aquoso consegue extrair um bom percentual de elementos em relação à total, sendo este enfoque, importante para nutrição humana.

Em trabalho realizado por Reissmann, Radomski e Quadros (1994) com a mesma espécie, verificaram que, a percentagem extraída via aquosa (água em fervura) em relação à total foi de 75, 11, 32, 5, 25, 42, 36 e 21%, respectivamente para K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn e Al. Percebe-se que a maioria dos valores encontrados por estes autores não correspondem aos verificados nesse trabalho, porém a menor temperatura da água utilizada por aqueles autores, pode justificar parte dos menores valores de K, mas não os maiores valores dos demais elementos.

TABELA 5.2 - TEOR MÉDIO FOLIAR EXTRAÍDO PELOS MÉTODOS TOTAL (ET) E AQUOSO (EA) DE P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Al E Na COM RESPECTIVO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV) DE ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK

MÉDIA	ELEMENTO									
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al	Na
	----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----				
ET	1,4	21,1	7,6	5,3	76,5	1.306,0	14,4	43,3	669,3	138,0
EA	0,6	8,7	2,1	2,5	7,7	789,6	9,4	25,7	361,0	120,0
CV% ⁽¹⁾	8,0	7,8	14,7	13,2	11,2	25,4	12,8	25,9	10,8	29,9
CV% ⁽²⁾	24,7	17,9	13,5	27,6	23,5	28,9	15,9	26,6	19,5	27,8
ET% ⁽³⁾	44	41	29	47	10	61	65	59	54	87

⁽¹⁾ Coeficiente de variação para a média da extração total; ⁽²⁾ CV para a média extração hidrossolúvel e ⁽³⁾ percentagem extraído pelo método aquoso comparado com a total.

Nota-se pelo comportamento dos elementos, que é possível dividir em grupos por faixa de extração. Os elementos Ca e Fe ficaram abaixo de 30%, P, K e Mg em torno de 40%, Zn e Al para 50%, Mn e Cu para 60% e acima de 80% o Na.

A solubilidade de cada elemento pode estar diretamente ligada à função que o mesmo desempenha e na forma que se encontra na planta. Segundo Marschner (1995), os elementos na planta podem participar, dentre várias formas, como integrante de estruturas ou ativadores de inúmeras enzimas, podendo ser móveis, pouco móveis e imóveis. Para Epstein e Bloom (2004), em termos de mobilidade na planta, o P, K e Mg são móveis, o Fe, Mn, Cu, Zn e Na são pouco móveis e o Ca é imóvel.

No caso do P, apesar de ser considerado móvel na planta, nota-se que o método aquoso extraiu menos de 50% do total. Para isto, deve-se considerar que este elemento é componente de estruturas, como nas paredes celulares (WHITEHEAD; GOULDEN; HARTLEY, 1985), constituinte de aminoácidos, amidas, proteínas e ácidos nucleicos (MENGEL; KIRKBY, 1987). Desta forma, o P apesar de ser móvel na planta não apresentou grandes quantidades extraídas com o método aquoso.

Para o K, esperava-se extração semelhante a do Na, pois, segundo Malavolta (1980), Mengel e Kirkby (1987), Marschner (1995) e Epstein e Bloom (2004) o K é um dos elementos mais móveis na planta, está presente como íon livre, não possui função estrutural e, em algumas condições, o Na pode substituí-lo em várias funções. Por estas razões, a quantidade de K hidrossolúvel verificada nesse trabalho pode ser considerada baixa, porém, a do Na está coerente.

Em relação ao Ca, este foi o elemento que após o Fe mostrou a menor percentagem de extração. Comportamento semelhante foi relatado por Reissmann, Radomski e Quadros (1994), onde obtiveram extração de 11% de Ca em erva mate e por Radomski e Wisniewski (2004) com 30% de Ca em espinheira-santa, ambos utilizando água em fervura. Este fato é compreensível, pois segundo Malavolta (1980) e Taiz e Zeiger (2004), a maior proporção de Ca na planta encontra-se na forma insolúvel em água, principalmente como pectatos de Ca na parede celular. Desta forma, como a maioria do Ca tem função estrutural, aliado a sua possível imobilidade na planta, torna-se evidente a baixa percentagem do Ca hidrossolúvel detectados nesse trabalho.

O Mg apresenta função estrutural e está presente principalmente na molécula de clorofila dos vegetais (EPSTEIN; BLOOM, 2004). Ao contrário do Ca, e de modo semelhante ao K, o Mg apresenta alta taxa iônica livre e é móvel no floema da planta (MALAVOLTA, 1980; MENGEL; KIRKBY, 1987). Este comportamento do Mg na fisiologia das plantas pode traduzir-se em valores consideráveis na solubilidade deste em água. No trabalho com espinheira-santa, Radomski e Wisniewski (2004) obtendo 82% de Mg hidrossolúvel confirmam esta característica. Entretanto, com 32% de Mg hidrossolúvel (água em fervura), Reissmann, Radomski e Quadros (1994) não observaram esse mesmo comportamento para a erva-mate. Assim, nesse trabalho, mesmo com temperatura da água menor (75 a 80 °C), a extração hidrossolúvel de 47% de Mg, indica que a variabilidade genética e/ou o estado nutricional da planta pode influenciar na solubilidade deste elemento na planta.

A baixa mobilidade do Fe, possivelmente deve-se a sua precipitação nas folhas mais velhas na forma de óxidos ou fosfatos insolúveis. Além disto, pode ter havido formação de complexos com a proteína fitoferritina encontrada em outras partes da planta (OH; KWON; YANG, 1996) que encapsula o Fe (EPSTEIN; BLOOM, 2004). Segundo Taiz e Zeiger (2004), nestas condições, o Fe diminui significativamente sua mobilidade na planta. Desta forma, pode-se justificar a baixa percentagem de hidrossolubilidade verificada deste elemento em erva-mate.

Observou-se que as percentagens do teor hidrossolúvel extraído de Mn, Cu e Zn foram muito semelhantes. Este fato pode relacionar-se por estes elementos apresentarem semelhança de mobilidade e constituintes integrais de enzimas e outras atividades essenciais do metabolismo das plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2004).

Embora haja trabalhos que mencionem sobre o comportamento do Al na planta, este assunto ainda está pouco claro. Para Yamamoto *et al.* (2002) o Al na planta se liga fortemente a muitos ligantes doadores de oxigênio, como grupos carboxilatos, fosfatos e sulfatos que interagem com as paredes celulares e membranas plasmáticas. Desta forma o Al na planta possivelmente seria pouco solúvel em água, assim como verificado em alguns trabalhos (REISSMANN; RADOMSKI; QUADROS, 1994; RADOMSKI; WISNIEWSKI, 2004). Entretanto, a extração de 54% de Al hidrossolúvel para esse experimento, não confirma essa hipótese.

Assim como as plantas necessitam de níveis adequados de minerais para se desenvolverem, o mesmo ocorre para nós humanos. Sendo que a inclusão de minerais em nossa dieta ser de extrema importância (SGABIERI, 1987).

O Mg é o segundo cátion intracelular mais abundante. É co-fator de aproximadamente 300 reações enzimáticas, participa de inúmeros processos metabólicos, inclusive daqueles ligados ao metabolismo de carboidratos envolvidos na regulação da secreção e ação da insulina (ELIN, 1994). O Mg participa da homeostase da glicose tanto ao regular a secreção da insulina como ao modular sua ação em tecidos alvos (REIS; VELLOSO; REYES, 2002).

Para Zn, dentre as principais funções, destacam-se a participação na síntese e degradação dos carboidratos, lipídeos e proteínas, na manutenção do crescimento e do desenvolvimento, no funcionamento adequado do sistema imunológico, na defesa antioxidante, na função neurosensorial, e, também, na transcrição e tradução de polinucleotídeos (SALGUEIRO *et al.*, 2000).

De acordo com Soares *et al.* (2004), em geral, os minerais ingeridos na forma de bebidas são mais absorvidos pelo organismo, pois nelas há maior solubilidade dos minerais e menor concentração de inibidores de absorção. Neste sentido, os teores hidrossolúveis verificados para a maioria dos minerais estudados neste trabalho, mostram que a erva-mate ingerida na forma de chimarrão pode fornecer quantidades importantes de minerais para a dieta humana.

5.3.2.2 Influência da fertilização na hidrossolubilidade de macronutrientes

A significância do teor foliar de P e K em relação aos tratamentos, verificada para a extração total (Figura 5.3 A), na extração aquosa somente foi confirmada para o P (Figura 5.3 B). Ou seja, embora o teor do K esteja maior nos tratamentos com maior dose de fertilização, quando submetida à extração aquosa deste elemento com água em temperatura entre 75 a 80 °C, não se constata diferença de teor. Entretanto o teor extraído de P foi significativo para ambos os métodos, porém, enquanto na extração total seu comportamento foi linear positivo em relação aos tratamentos, na aquosa obteve efeito quadrático com valor máximo de 0,7 g kg⁻¹ na dose de 120% da recomendada.

Como consequência da adição ao solo de doses crescentes de NPK, o aumento linear do teor total foliar de P e K era esperado. Apesar das plantas terem seu crescimento diretamente dependentes da concentração de nutrientes na solução do solo (NOVAIS; MELLO, 2007), a presença de um elemento na planta não significa por si só que ele tem um papel essencial e, que o teor deste seja necessário para o desenvolvimento ideal da planta (EPSTEIN; BLOOM, 2004). Neste sentido, o teor de um determinado elemento pode ter alterado sua mobilidade na planta (TAIZ; ZEIGER, 2004).

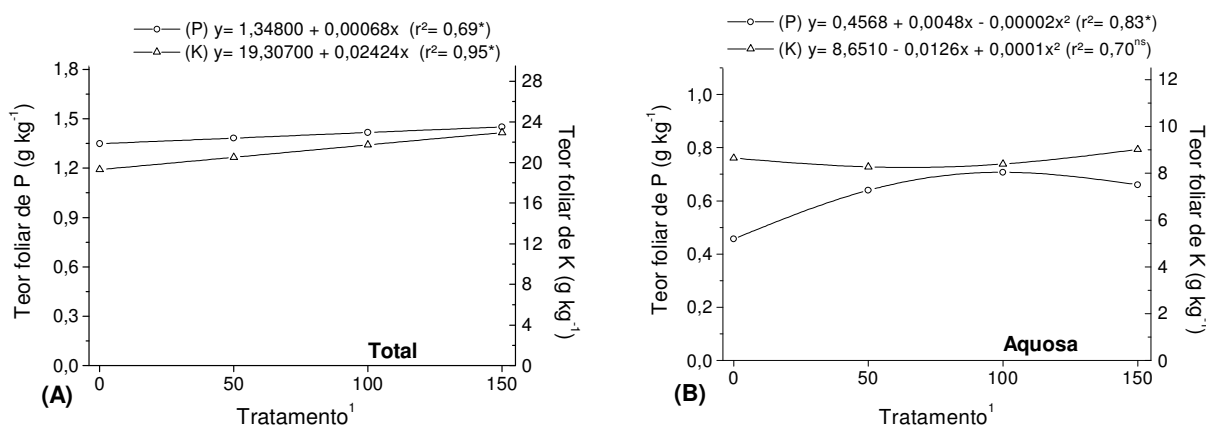


FIGURA 5.3 - (A) EXTRAÇÃO TOTAL E (B) EXTRAÇÃO AQUOSA DE P E K EM FOLHAS DE ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK; * F SIGNIFICATIVO A 5% E ^{ns} F NÃO SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO; ¹ PERCENTAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NPK PARA A CULTURA DA ERVA-MATE COM EXPECTATIVA DE RENDIMENTO MAIOR QUE 12 t ha⁻¹ DE MASSA VERDE (SBCS, 2004)

O P, após sua absorção, permanece como fósforo inorgânico (Pi), ou é incorporado a cadeias de carbono (C) como éster simples de fosfato ou preso a

outro fosfato com ligações de alta energia (ATP) (MARSCHNER, 1995). Para o P, em condições de deficiência, ocorre maior proporção deste nutriente em formas orgânicas nas raízes e menor concentração no floema, possivelmente pela baixa disponibilidade de Pi a ser transportado para a parte aérea da planta (ALVES *et al.*, 1998). Porém, em condições de maior suprimento de P, dentre o aumento das várias frações deste elemento na planta, o Pi é o que se destaca principalmente na forma de reserva (CHAPIN; BIELESKI, 1982). Nesse trabalho, observou-se aumento progressivo de P hidrossolúvel até próximo de 120% da dose recomendada e, após ocorreu uma leve redução no seu teor extraído.

O efeito não significativo no teor foliar total de Ca e Mg era esperado, pois os mesmos não eram constituintes dos tratamentos (Figura 5.3 A). Este comportamento também foi verificado na extração aquosa para Mg (Figura 5.3 B). Porém, o mesmo não ocorreu para o Ca, onde se verificou comportamento linear negativo em relação aos tratamentos.

Muitas das funções do Ca na planta estão ligadas a composição estrutural de macromoléculas com ligações estáveis, mas reversíveis principalmente nas paredes celulares e na membrana plasmática. Nas folhas, assim como em todo o tecido vegetal, a maior parte do Ca está localizada nas paredes celulares, resultante da grande quantidade de sítios de ligação para este elemento nesta célula (VITTI; LIMA; CICARONE, 2006).

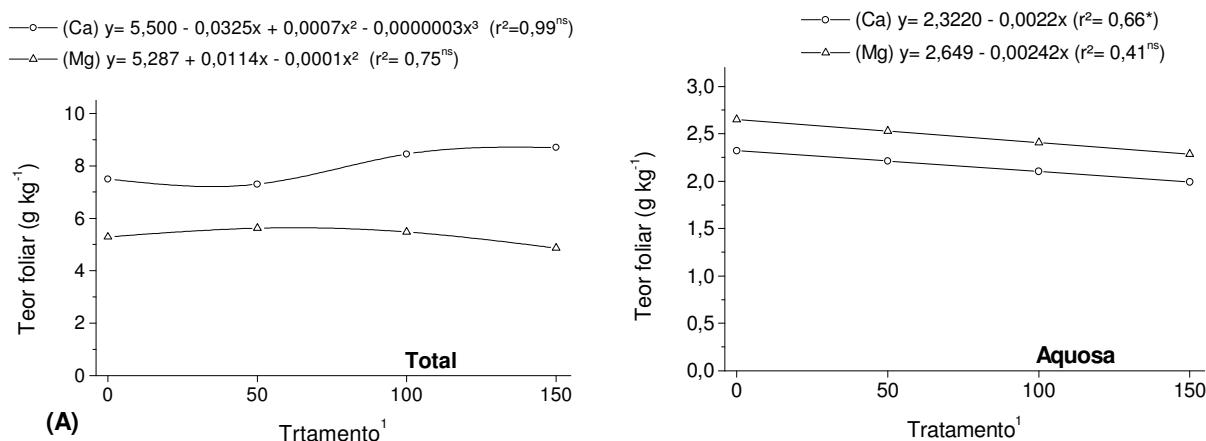


FIGURA 5.4 - (A) EXTRAÇÃO TOTAL E (B) EXTRAÇÃO AQUOSA DE Ca E Mg EM FOLHAS DE ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK; * F SIGNIFICATIVO A 5% E ^{ns} F NÃO SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO; ¹ PERCENTAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NPK PARA A CULTURA DA ERVA-MATE COM EXPECTATIVA DE RENDIMENTO MAIOR QUE 12 t ha⁻¹ DE MASSA VERDE (SBCS, 2004)

O Ca livre, normalmente é encontrado em baixas concentrações no citosol, fato este atribuído principalmente à baixa permeabilidade de membrana para este elemento e, pela remoção de Ca do citosol e acumulado como estoque no retículo endoplasmático, cloroplastos e vacúolo (EVANS; BRIARS; WILLIAMS, 1991). Porém, mesmo sendo fortemente ligado a estruturas nos tecidos vegetais, o Ca, em condições de maior teor de Al na planta, pode ser deslocado. O Al^{+3} é um competidor muito mais forte eletrostaticamente por sítios de troca do que o Ca que consegue deslocar grandes proporções deste elemento das pectinas na parede celular (TAYLOR *et al.*, 2000). Neste sentido, com o aumento linear do teor foliar total do Al em função das doses de NPK (Figura 5.6 A), esperava-se comportamento semelhante para a hidrossolubilidade de Ca. Porém, para a redução do teor hidrossolúvel de Ca com o aumento das doses de NPK, esta hipótese não se confirmou.

5.3.2.3 Influência da fertilização na hidrossolubilidade de micronutrientes, Al e Na

Os teores foliares de Fe e Mn manifestaram-se em forma de parábola para os dois métodos de extração, sendo que na extração total, apenas o Mn foi significativo com teor foliar mínimo de $1.079,2 \text{ mg kg}^{-1}$ e de máximo de $1.589,7 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente em 44 e 112% da dose recomendada, (Figura 5.4 A).

Na extração aquosa o Mn comportou-se de forma muito semelhante a da extração total, obtendo valor mínimo de $600,2 \text{ mg kg}^{-1}$ na dose de 47% e pico de máximo de $978,5 \text{ mg kg}^{-1}$ para a dose de 108% da dose recomendada. Para o Fe, o teor mínimo foi de $4,6 \text{ mg kg}^{-1}$ e máximo de $8,4 \text{ mg kg}^{-1}$, os quais ocorreram respectivamente em 52 e 120% da dose recomendada (Figura 5.4 B).

Ao comparar o comportamento do Mn entre os dois métodos de extração e (Figura 5.3 A e B), o Fe e Mn no método de extração aquosa (Figura 5.3 B), percebe-se que os pontos de mínimo e máximo de ambos ocorrem em doses muito próximas, indicando comportamento muito semelhante, porém de difícil explicação.

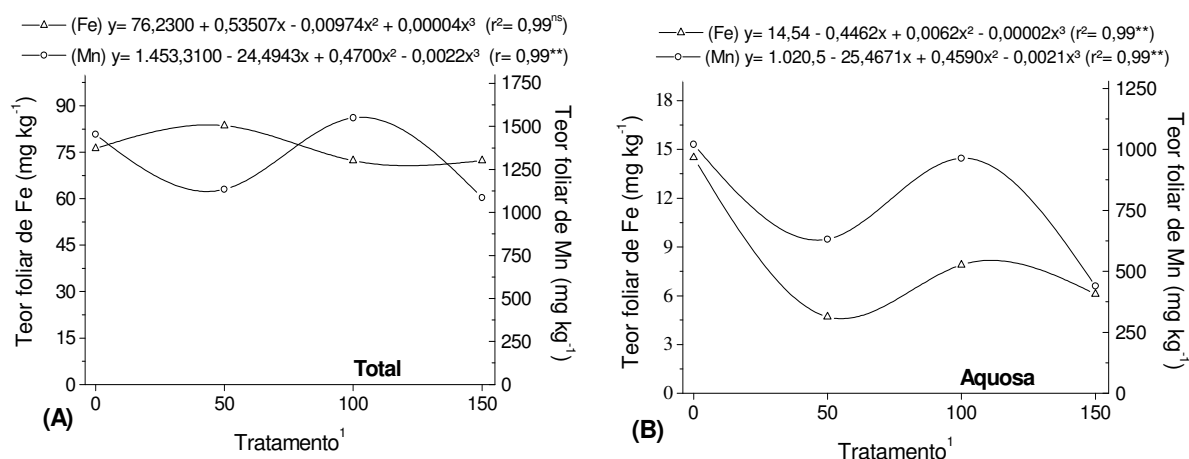


FIGURA 5.5 - (A) EXTRAÇÃO TOTAL E (B) EXTRAÇÃO AQUOSA DE Fe E Mn EM FOLHAS DE ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK; ** F SIGNIFICATIVO A 1% E ^{ns} F NÃO SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO; ¹ PERCENTAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NPK PARA A CULTURA DA ERVA-MATE COM EXPECTATIVA DE RENDIMENTO MAIOR QUE 12 t ha⁻¹ DE MASSA VERDE (SBCS, 2004)

Geralmente após ser absorvido, o Mn é facilmente translocado dentro da planta, portanto é provável que ele não esteja vinculado a ligantes de compostos orgânicos insolúveis e, que a mobilidade deste elemento depende diretamente de sua disponibilidade, ou seja, em condições de deficiência, o Mn se torna pouco móvel e, quando bem suprido, sua mobilidade na planta aumenta (KABATA-PENDIAS; KABATA, 2000). Neste sentido, a extração aquosa do Mn pode estar relacionada diretamente com o teor total da planta, ou seja, a medida que o teor total diminui ou aumenta (Figura 5.4 A), o mesmo ocorre com o teor hidrossolúvel (Figura 5.4 B).

Embora o teor total de Fe não tenha se apresentado significativo para as doses testadas de NPK, mesmo assim é interessante comparar o comportamento do teor extraído entre os métodos total (Figura 5.4 A) e aquoso (Figura 5.4 B). Observou-se que, enquanto o teor mínimo e máximo de Fe hidrossolúvel ficou respectivamente próximo de 50 e 120% da dose recomendada, no teor total, para essas mesmas doses, verificou-se respectivamente teor máximo e mínimo. Este comportamento pode reforçar a hipótese de que, o Fe estocado como reserva na planta, normalmente está na forma de ferritina, uma proteína que encapsula Fe férrico (Fe⁺³) de forma muito estável (EPSTEIN; BLOOM, 2004). Por outro lado, o Fe que está diretamente ligado às funções na planta, principalmente em tecidos mais jovens, apresenta maior mobilidade e, algumas frações mais solúveis, quando

comparado ao de reserva (KABATA-PENDIAS; KABATA, 2000). Neste sentido, o pico de menor hidrossolubilidade, pode estar relacionado a uma maior quantidade de Fe na planta menos hidrossolúvel. Por outro lado, a maior hidrossolubilidade verificada próxima do menor teor total, pode estar associada a uma maior proporção de Fe em atividade na planta. Desta forma, embora esta hipótese tenha lógica, com apenas 10% de Fe extraído via hidrossolúvel fica difícil justificar o comportamento do Fe nesse trabalho.

O teor foliar significativo e o comportamento quadrático positivo do Cu e Zn foram muito semelhantes para a extração total, com teores de máximos de 17,6 e 54,6 mg kg⁻¹ nas doses de 91 e 77% da recomendada, respectivamente (Figura 5.5 A). Já na extração aquosa, embora ambos tenham se mostrado significativos, o comportamento foi negativo em relação aos tratamentos (Figura 5.5 B). Para o Cu o teor mínimo de 8,2 mg kg⁻¹ foi extraído em 66% da dose recomendada. Já o Zn com comportamento linear negativo teve seu teor máximo de 30,2 mg kg⁻¹ na dose zero (testemunha) e teor mínimo de 21,1 mg kg⁻¹ para a dose máxima de 150% da dose recomendada.

Aparentemente, o Cu se mostrou semelhante ao Fe, ou seja, a menor hidrossolubilidade está diretamente associada ao seu maior teor foliar total. Este fato é bem evidente quando comparado o teor de ambos os métodos para 0% da dose recomendada, ou seja, para o menor teor total de Cu (Figura 5.5 A), a hidrossolubilidade deste elemento foi aproximadamente 100% (Figura 5.6 B). Assim como outros metais pesados potencialmente tóxicos, o Cu presente na planta que não esteja participando de funções é fortemente ligado a complexos mais estáveis (EPSTEIN; BLOOM, 2004). Já o Cu, principalmente presente no floema, normalmente está relacionado a aminoácidos (KABATA-PENDIAS; KABATA, 2000) o que poderia favorecer maior hidrossolubilidade.

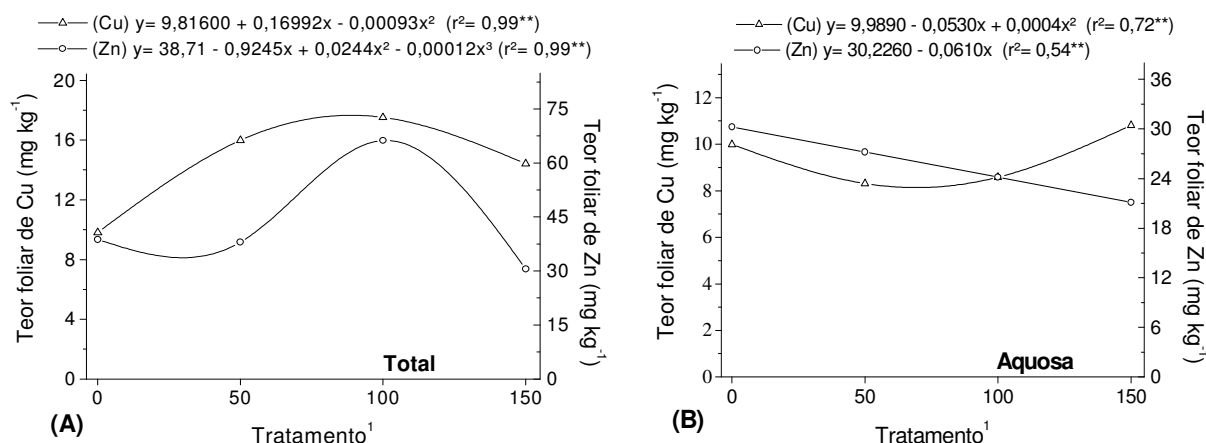


FIGURA 5.6 - (A) EXTRAÇÃO TOTAL E (B) EXTRAÇÃO AQUOSA DE Cu E Zn EM FOLHAS DE ERVA-MATÊ FERTILIZADA COM NPK; ** F SIGNIFICATIVO A 1% AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO; ¹ PERCENTAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NPK PARA A CULTURA DA ERVA-MATÊ COM EXPECTATIVA DE RENDIMENTO MAIOR QUE 12 t ha⁻¹ DE MASSA VERDE (SBGS, 2004)

O Zn, assim como o Cu, apresentou maior hidrossolubilidade, quando o total deste se encontrava em menores teores na planta. A forma do Zn no interior dos vasos do xilema ocorre principalmente como Zn⁺², o que favorece a baixa estabilidade por quelatos orgânicos e, favorece a maior precipitação deste elemento com fosfatos na planta (MALAVOLTA, 1980). Outra possibilidade sugerida por Prattely *et al.* (1982) é que o Zn pode estar fortemente vinculado ao ácido fítico e a proteínas, formando complexos de maior resistência à hidrólise. Desta forma, como o Zn possivelmente pode formar complexos mais estáveis, principalmente com fosfatos, o aumento linear do teor total foliar de P em resposta a fertilização de NPK (Figura 5.3 A), pode ter favorecido um maior teor de Zn ligado a fosfatos mais estáveis e, conseqüentemente menor hidrossolubilidade deste elemento.

Para o Al e o Na verificou-se significância do teor foliar para ambos os métodos de extração utilizados. Porém, ambos se comportaram de forma diferente dentro do mesmo método e entre os métodos de extração. O Na, com comportamento negativo, obteve teor mínimo de 113,2 mg kg⁻¹ na dose 56% da dose recomendada para a extração total. Na extração aquosa, tanto o Al quanto o Na obtiveram comportamento linear, porém opostos (Figura 5.6 A e B).

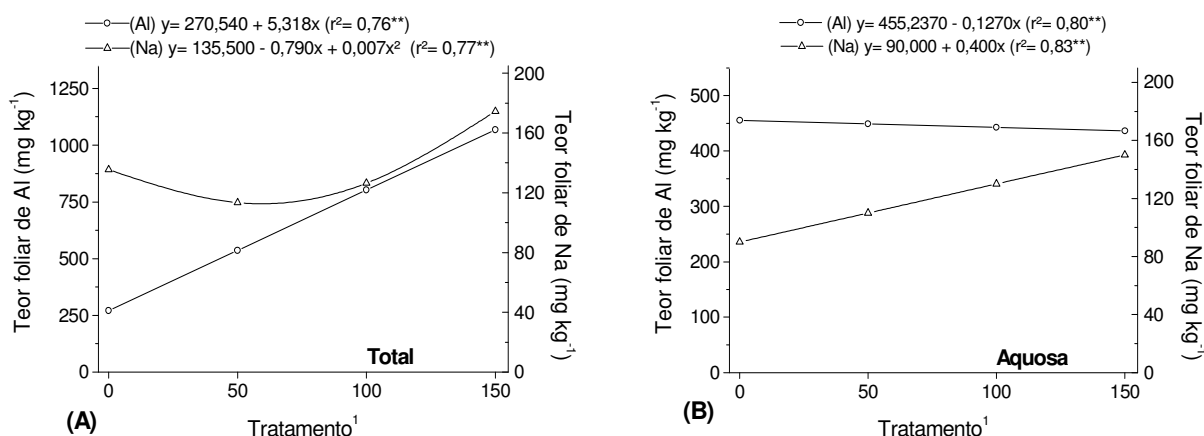


FIGURA 5.7 - (A) EXTRAÇÃO TOTAL E (B) EXTRAÇÃO AQUOSA DE Al E Na EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS; ** F SIGNIFICATIVO A 1% AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO; ¹ PERCENTAGEM DA RECOMENDAÇÃO DE NPK PARA A CULTURA DA ERVA-MATE COM EXPECTATIVA DE RENDIMENTO MAIOR QUE 12 t ha⁻¹ DE MASSA VERDE (SBCS, 2004)

Alguns autores relatam que muitos vegetais desenvolvem mecanismos para amenizar o efeito tóxico do Al no sistema fisiológico da planta, sendo que estes, muitas vezes podem formar complexos que torna esse elemento de baixa mobilidade na planta. Esses mecanismos normalmente ocorrem em plantas tolerantes a altos teores de Al, onde este elemento se liga fortemente em muitos ligantes doadores de oxigênio (EPSTEIN; BLOOM, 2004), além de poder ser complexado com radical sulfato (KINRAIDE, 1998) e com fluoretos (FAÇANHA; OKOROKOVA-FAÇANHA, 2002). Embora esses fatores possam tentar explicar a baixa hidrossolubilidade do Al, quando este se encontra em maior teor total na erva-mate, mesmo assim torna-se difícil entender a diferença de percentagem de Al hidrossolúvel entre as doses de 0 a 150% da recomendada. É importante ressaltar que, embora haja vários trabalhos que relatam sobre os mecanismos de tolerância dos vegetais ao Al, pouco destes apresentam fatos concretos e, na maioria, ainda se encontra na fase de hipóteses. Portanto, muitos trabalhos ainda deverão ser realizados para tentar entender este comportamento do Al.

Quanto ao Na, por ser um elemento que apresenta alta solubilidade Marschner (1995) e Epstein e Bloom (2004), comportamento semelhante para ambos os métodos já era esperado.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados verificados nas condições desse experimento é importante ressaltar que, a idéia normalmente pregada, quanto ao aumento do amargor e adstringência do chimarrão, ligado diretamente ao aumento do teor foliar da cafeína e teobromina, provocado pela adubação química de NPK, nesse trabalho não foi comprovada. Isto porque, os dados presentes mostram que, ao invés das doses crescentes de fertilização a base de NPK estimularem o aumento no teor foliar de cafeína e teobromina, a tendência foi reduzi-los. Caso em condições semelhantes de trabalhos venham se confirmar alterações no sabor do chimarrão, em função da adubação química de NPK, poderá esta, estar ligada a outros compostos ainda pouco conhecidos.

Portanto, os novos estudos com nutrição de ervais devem focar, juntamente com a tão almejada dose ideal dos principais macronutrientes, o comportamento de outros compostos e, se estes, realmente alteram o sabor do chimarrão, mediante a análise sensorial desta bebida. Se um dia, a ciência conseguir isolar, pelo menos, os principais fatores envolvidos no que tange o sabor e a qualidade dos produtos oriundos da erva-mate, todos os envolvidos na cadeia produtiva desta cultura agradecerão.

6 CONCLUSÕES

6.1 PRODUTIVIDADE E TEOR DE MINERAIS NA ERVA-MATE

A erva-mate, mesmo em sistema de adensamento com outras espécies arbóreas respondeu satisfatoriamente a aplicação de NPK.

A fertilização de NPK proporcionou um aumento médio de 16% na produtividade de erva-mate verde comercializável.

Doses de 50, 100 e 150% da recomendação de NPK para a cultura da erva-mate, proporcionaram aumentos de 692, 817 e 1.605 kg ha⁻¹ correspondendo respectivamente a 17, 16 e 32% da produtividade de erva-mate verde. A erva-mate que não recebeu adubação diminuiu a produtividade em 3%, que correspondeu uma redução de 128 kg ha⁻¹ de erva-mate verde.

Na condição de erval adensado com baixa fertilidade do solo, mesmo a aplicação de uma dose de NPK 150% maior que a recomendada foi insuficiente para maximizar a produtividade da erva-mate.

A fertilização de NPK e a aplicação de 1 t de calcário estimularam o aumento do teor foliar de N, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Al e a redução de Cu e Na.

Doses crescentes de NPK proporcionaram aumento linear no teor foliar de N, P, K e Al.

A reposição dos nutrientes exportados pela colheita é imprescindível para manter a sustentabilidade da cultura, em relação a produtividade e nível de fertilidade do solo.

6.2 CAFEÍNA, TEOBROMINA E HIBROSSOLUBILIDADE DE MINERAIS NA ERVA-MATE

As doses crescentes da fertilização a base de NPK adicionadas ao solo, não alteraram o teor foliar de cafeína, mas reduziram o teor foliar de teobromina na erva-mate.

Dos elementos analisados, o método aquoso ao comparar com o método total, na média geral extraiu 50% do teor mineral. A ordem da maior para a menor hidrossolubilidade entre os elementos foi Na, Cu, Mn, Zn, Al, Mg, P, K, Ca e Fe.

As doses crescentes de NPK alteraram a hidrossolubilidade do P, Fe, Mn e Cu, reduziu do Ca, Zn e Al e aumentou do Na.

REFERÊNCIAS

- ALVES, V. M. C.; NOVAIS, R. F.; OLIVEIRA, M. F. V.; SANT'ANNA, R. Cinética e translocação de fósforo em híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 7, p. 1047-1052, 1998.
- ANDRADE, F. M. de. **Avaliação de biomassa, clorofila, cafeína e tanino em *Ilex paraguariensis* Saint-Hilaire, crescendo sob sombreamento e pleno sol.** 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- ASHIHARA, H. Purine metabolism and the biosynthesis of caffeine in maté leaves. **Phytochemistry**, v. 33, n. 6, 1993, p. 1427-1430.
- ATHAYDE, M. L.; COELHO, G. C.; SCHENKEL, E. P. Caffeine and theobromine in epicuticular wax of *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Phytochemistry**, Oxford, v. 55, n. 7, p. 853-857, 2000.
- BARROS, S. G. S. de; GHISOLFI, E. S.; LUZ, L. P.; BARLEM, G. G.; VIDAL, R. M.; WOLFF, F. H.; MAGNO, V. A.; BREYER, H. P.; DIETZ, J.; GRÜBER, A. C.; KRUEL, C. D. P.; PROLLA, J. C. Mate (chimarrão) é consumido em alta temperatura por população sob risco para o carcinoma epidermóide de esôfago. **Arquivos de Gastroenterologia**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 25-30, 2000.
- BERTONI, M. H.; PRAT KRICUN, S. D.; KANZIG, G.; CATTANEO, P. Fresh leaves of *Ilex paraguariensis* Saint. Hi. III. Effect of different stages of the traditional process for yerba mate production on the composition of fresh leaves. **Anales De La Asociación Química Argentina**, Buenos Aires, v. 80, n. 6, p. 493-501, 1992.
- BOWERS, M. D.; STAMP, N. E. Effects of plant age, genotype and herbivory on plantago performance and chemistry. **Ecology**, Washington, D.C., v. 74, n. 6, p. 1778-1791, 1993.
- BORILLE, A. M. W. Relação entre compostos fitoquímicos e o nitrogênio em morfotipos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- BORILLE, A. M. W.; REISSMANN, C. B.; DE FREITAS, R. J. S. Relação entre compostos fitoquímicos e o nitrogênio em morfotipos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.Hil.). **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 23, n. 1, p.183-198, 2005.
- BÜLL, L. T.; VILLAS BÔAS, R. L.; NAKAGAWA, J. Variações no balanço catiônico do solo induzidas pela adubação potássica e efeitos na cultura do alho vernalizado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 3, p. 456-464, 1998.
- CÂMARA SETORIAL DA CADEIA PRODUTIVA DA ERVA-MATE. **Produtos alternativos e desenvolvimento da tecnologia industrial na cadeia produtiva da erva-mate.** Curitiba, 2000. 160 p.

CARDOZO JUNIOR, E. L.; DONADUZZI, C. M.; STURION, J. A.; CORREA, G. variação no teor de cafeína em dezesseis progênies de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivadas em três municípios do Paraná. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 3., 2003, Chapecó. **Anais....** Chapecó: Ed. News Print, 2003. 1 CD-ROM.

CARVALHO, P. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, v. 1, 2003. 1039 p.

CHAPIN, F. S.; BIELESKI, R. L. Mild phosphorus stress in barley and a related low-phosphorus-adapted barleygrass: Phosphorus fractions and phosphate adsorption in relation to growth. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 54, n. 3, p. 309-317, 1982.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327-354.

DE MARIA, C. A. B.; MOREIRA, R. F. A. Cafeína: revisão sobre métodos de análise. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 99-105, 2007.

DONADUZZI, C. M.; COELHO, S. R. M. ; CARDOZO JR., E. L.; GALLO, A. G.; HUPPES, G. K.; KUHN, I. M. V.; SCHICHEL, C. Teores de cafeína, polifenóis totais e taninos em amostras de erva mate comercializadas na região de Toledo – Paraná. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DE ERVA MATE, 3., 2000, Encantado. **Anais...** Porto Alegre: Edição dos Organizadores, 2000. p. 158-161.

DUSTIN, C. D.; COOPER-DRIVER, G. A. Changes in phenolic production in the hay-scented fern (*Dennstaedtia punctilobula*) in relation to resource availability. **Biochemical Systematics and Ecology**, Oxford, v. 20, n. 2, p. 99-106, 1992.

ELIN, R.J. Magnesium: the fifth but forgotten electrolyte. **American Journal of Clinical Pathology**, Philadelphia, v.102, n.5, p.616-622, 1994.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina: Planta, 2004. 403 p.

EVANS, D. E.; BRIARS, S. A.; WILLIAMS, L. E. Active calcium transport by plant cell membranes. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, n. 3, p. 285-303, 1991.

FAÇANHA, A. R.; OKOROKOVA-FAÇANHA, A. L. Inhibition of phosphate uptake in corn roots by aluminum-fluoride complexes. **Plant Physiology**, Rockville, v. 129, n. 4, p. 1763-1772, 2002.

FILIP, R.; LÓPEZ, P.; GIBERTI, G.; COUSSIO, J.; FERRARO, G. Phenolic compounds in seven South American *Ilex* species. **Fitoterapia**, Barcelona, v. 72, p. 774-778, 2001.

GERSHENZON, J. Changes in the levels of plant secondary metabolite production under water and nutrient stress. **Recent Advances in Phytochemistry**, New York, v. 18, p. 273-320, 1984.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, 374-381, 2007.

HEINRICHS, R.; MALAVOLTA, E. Composição mineral do produto comercial da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 5, p. 781-785, 2001.

HÖFT, M.; VERPOORTE, R.; BECK, E. Growth and alkaloid contents in leaves of *Tabernaemontana pachysiphon* Stapf (*Apocynaceae*) as influenced by light intensity, water and nutrient supply. **Oecologia**, Heidelberg, v. 107, n. 2, p. 160-169, 1996.

IASON, G. R.; HARTLEY, S. E.; DUNCAN, A. J. Chemical composition of *Calluna vulgaris* (Ericaceae): do responses to fertilizer vary with phenological stage. **Biochemical Systematics and Ecology**, Oxford, v. 21, n. 3, p.315-321, 1993.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Boca Raton, London: CRC Press, 2000. 331 p.

KINRAIDE, T. B. Three mechanisms for the calcium alleviation of mineral toxicities. **Plant Physiology**, Rockville, v. 118, n. 2, p. 513-520, 1998.

LUNCEFORD, N.; GUGLIUCCI, A. *Ilex paraguariensis* extracts inhibit AGE formation more efficiently than green tea. **Fitoterapia**, Barcelona, v. 76, n. 5, p. 419-27, 2005.

MACHADO, C. C. B.; BASTOS, D. H. M.; JANZANTTI, N. S.; FACANALI, R.; MARQUES, M. O. M.; FRANCO, M. R. B. Determinação do perfil de compostos voláteis e avaliação do sabor e aroma de bebidas produzidas a partir da erva-mate (*Ilex paraguariensis*). **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 513-518, 2007.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 607p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1989. 201p.

MARSCHENER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MAZZAFERA, P. Maté drinking: caffeine and phenolic acid intake. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 60, n. 1, p. 67-71, 1997.

MAZZAFERA, P. Mineral nutrition and caffeine content in coffee leaves. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 2, p. 387-391, 1999.

MENDES, R. M. O. **Caracterização e avaliação da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), beneficiada no estado de Santa Catarina**. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Setor de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4. ed. Worblaufen-Bern: International Potash Institute, 1987. 665 p.

MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M.; REISSMANN, C. B.; DIONÍSIO, J. A. **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta**. Curitiba: edição do autor, 2007. 246 p.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. DE. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.133-204.

OH, S. H.; KWON, T. H.; YANG, M. S. Purification and characterization of phytoferritin. **Journal of Biochemical and Biophysical Methods**, Amsterdam, v. 29, p. 540-544, 1996.

PANDOLFO, M. C.; FLOSS, P. A.; Da CROCE, D. M.; DITTRICH, R. C. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um Latossolo Vermelho aluminoférrico. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 37-45, 2003.

PRATTELY, C. A.; STANLEY, D. W.; SMITH, T. K.; VAN DE VOORT, F. R. Protein-phytate interaction in soybeans. The effect of protein-phytate complexes on zinc bioavailability. **Journal of Food Biochemistry**, Malden, v. 6, n. 4, p. 273-282, 1982.

RACHWAL, M. F. G.; COELHO, G. C.; DEDECEK, R. A.; CURCIO, G. R.; SCHENKEL, E. P. **Influência da luminosidade sobre a produção de massa foliar e teores de macronutrientes, fenóis totais, cafeína e teobromina em folhas de erva-mate**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 5 p. (Circular Técnica, 81).

RADOMSKI, M. I.; WISNIEWSKI, C. Teores de elementos químicos hidrossolúveis em folhas de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*) (Schrad.) Planch. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 6, n. 3, p. 64-68, 2004.

RAKOCEVIC, M.; MEDRADO, M. J. S.; LUCAMBIO, F.; VALDUGA, T. A. Influência do sexo, da sombra e da idade das folhas no sabor do chimarrão. In: CONGRESO SUDAMERICANO 4; REUNIÓN TÉCNICA 4 E EXPOSICIÓN DE AGRONEGOCIOS DE LA YERBA MATE 2. Posadas, 2006. **Actas...** Posadas, Misiones, 2006, p. 31-36.

RAMALLO, L. A.; SMORCZEWSKI, M.; VALDEZ, E.; PAREDES, A. M.; SCHMALKO, M.E. Composición química del extracto acuoso de la yerba mate. In: CONGRESO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL

SOBRE A CULTURA DA ERVA- MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo. EMBRAPA/CNPQ, 1997. p. 411-412.

REGINATTO, F. H.; ATHAYDE, M. I.; GOSMANN, G.; SCHENKEL, E. P. Methyxanthines accumulation in *Ilex* species – caffeine and theobromine in erva-mate (*Ilex paraguariensis*) and other *Ilex* species. **Journal Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 10, n. 6, p. 443-446, 1999.

REIS, M. A. B.; VELLOSO, L. A.; REYES, F. G. R. Alterações do metabolismo da glicose na deficiência de magnésio. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 333-340, 2002.

REISSMANN, C. B.; CARNEIRO, C. Crescimento e composição química da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), transcorrido oito anos de calagem. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 281-386, 2004.

REISSMANN, C. R.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. de. Relação entre os teores e a fração hidrossolúvel dos elementos K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn e Al em folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 37, n. 4, p. 959-971, 1994.

SALGUEIRO, M. J.; Zubillaga, M.; Lysionek, A.; Sarabia, M. I.; Caro, R. Paoli, T.; Hager, A.; Weil, R. B. J. Zinc as an essential micronutrient: a review. **Nutrition Research**, New York, v. 20, n. 5, p. 737-55, 2000.

SANTOS, K. A. dos. **Estabilidade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) em embalagens plásticas**. 109 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MONTANHA, J. A.; HEIZMANN, B. M.; ATHAYDE, M. L.; TAKETA, A. T. C.; PIRES, V. S.; GUILLAUME, D. Saponins from mate (*Ilex paraguariensis*) and other South American *Ilex* species: Ten years research on *Ilex* saponins. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 49, n. 5-6, p. 359-363, 1997.

SCHINELLA, G. R.; TROIANI, G.; DÁVILA, V.; BUSCHIAZZO, P. M. de; TOURNIER, H. A. Antioxidant effects of an aqueous extract of *Ilex paraguariensis*. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, San Diego, v. 269, n. 2, p. 357-360, 2000.

SGABIERI, W.C. **Alimentação e nutrição: Fator de saúde e desenvolvimento**. UNICAMP/Almed, Campinas/São Paulo, 1987.

SOARES, S. E. Ácidos fenólicos como antioxidantes. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 71-81, 2002.

SOARES, L. M. V.; SHISHIDO, K.; MORAES, A. M. M.; MOREIRA, V. A. Composição mineral de sucos concentrados de frutas brasileiras. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 202-206, 2004.

SUZUKI, T.; TAKAHASHI, E. Biosynthesis of caffeine by tea-leaf extracts. Enzymic formation of theobromine from 7-methylxanthine and of caffeine from theobromine. **Biochemical Journal**, London, v. 146, p. 87-96, 1974.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAYLOR, G. J.; MCDONLD-STEPHENS, J. L.; HUNTER, D. B.; BERTSCH, P. M.; ELMORE, D.; RENGEL, Z.; REID, R. J. Direct measurement of aluminium uptake and distribution in single cells of *Chara corallina*. **Plant Physiology**, Rockville, v. 123, n. 3, p. 987-996, 2000.

VALDUGA, E. **Caracterização química e anatômica da folha de (*Ilex paraguariensis* Saint. Hilaire) e de algumas espécies utilizadas na adubação do mate**. 97 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Química) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLEN, D. L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, Oxford, v. 157, n. 3, p. 423-447, 2003.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 299-325.

WALLER, G. R.; NOWACKI, E. K. **Alkaloid biology and metabolism in plants**. New York: Plenum Press, 1978. 293 p.

WHITEHEAD, D. C.; GOULDEN, K. M.; HARTLEY, R. D. The distribution of nutrient elements in cell wall and other fractions of herbage of some grasses and legumes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 36, p. 311-318, 1985.

YAMAMOTO, Y.; KOBAYASHI, Y.; DEVI, S. R.; RIKIISHI, S.; MATSUMOTO, H. Aluminum toxicity is associated with mitochondrial dysfunction and the production of reactive oxygen species in plant cells. **Plant Physiology**, Rockville, v. 128, n. 1, p. 63-72, 2002.

YUNES, R. A.; CECHINEL FILHO, V. Breve análise histórica de plantas medicinais: sua importância na atual concepção de fármaco segundo os paradigmas ocidental e oriental. In: YUNES, R. A.; CALIXTO, J. B. (Ed.). **Plantas medicinais sob a óptica da química medicinal moderna**. Chapecó: Argos, 2001. p.17-46.

ZAMPIER, A. C. **Avaliação dos níveis de nutrientes, cafeína e taninos após adubação mineral e orgânica, e sua relação com a produtividade na erva-mate (*Ilex paraguariensis* St Hil.)**. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

ANEXOS 03

TABELA 1 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O TEOR FOLIAR MÉDIO CAFEÍNA E TEOBROMINA EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK

CAUSA DE VARIÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO	
		CAFEÍNA	TEOBROMINA
		----- g 100g ⁻¹ -----	
Bloco	9	0,0767 ^{ns}	0,0046 ^{ns}
Tratamento	3	0,3047*	0,0608**
Regressão (grau)	1 ^o	0,1630 ^{ns}	0,1293**
	2 ^o	0,0018 ^{ns}	0,0316 ^{ns}
	3 ^o	0,7495**	0,0216 ^{ns}
Erro	27	0,0763	0,0076
Média	---	1,35	0,38
CV%	---	20,45	23,0

* e ** F significativo a 5% e 1% e ^{ns} F não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

TABELA 2 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS MACRONUTRIENTES P, K, Ca E Mg E Na ENCONTRADOS EM FOLHAS DE ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK, PARA OS MÉTODOS DE EXTRAÇÃO TOTAL (ET) E AQUOSA (EA)

FATOR DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		P	K	Ca	Mg	Na
		----- g kg ⁻¹ -----				
Bloco	9	0,202 ^{ns}	17,452**	0,507 ^{ns}	0,668 ^{ns}	0,002 ^{ns}
ET e EA	1	12,152**	3067,764**	532,581**	161,880**	0,006*
Dose	3	0,420**	20,961*	1,020 ^{ns}	1,901*	0,015**
ET e EA x dose	3	0,120 ^{ns}	7,943 ^{ns}	0,524 ^{ns}	0,142 ^{ns}	0,002 ^{ns}
Erro	63	1,122	5,484	0,501	0,554	0,001
Média	---	1,0	14,9	4,9	3,9	0,1
CV%	---	13,2	15,7	14,6	19,1	28,8

* e ** F significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade de erro, respectivamente; ^{ns} F não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

TABELA 3 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS MICRONUTRIENTES Fe, Mn, Cu E Zn E Al ENCONTRADOS EM FOLHAS DE ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK, PARA OS MÉTODOS DE EXTRAÇÃO TOTAL (ET) E HIDROSSOLÚVEL (EH)

FATOR DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		Fe	Mn	Cu	Zn	Al
		----- mg kg ⁻¹ -----				
Bloco	9	149,291**	132557,584 ^{ns}	1,611 ^{ns}	52,181 ^{ns}	3061,657 ^{ns}
EH e ET	1	94572,504**	5334566,986**	502,503**	6186,403**	1900761,996**
Dose	3	200,842**	1145370,927**	45,445**	1490,132**	456763,147**
EH e ET x dose	3	279,692**	20614,093 ^{ns}	86,610**	1296,666**	1176204,893**
Erro	63	48,166	74268,136	2,813	85,793	5090,063
Média	---	42,1	1,47,8	11,9	34,5	515,2
CV%	---	16,5	26,0	14,0	26,9	13,8

* e ** F significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade de erro, respectivamente; ^{ns} F não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

FIGURA 4 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O TEOR FOLIAR MÉDIO DE P, K, Ca E Mg EXTRAÍDO VIA HIDROSSOLÚVEL EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK

CAUSA DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO			
		P	K	Ca	Mg
		----- g kg ⁻¹ -----			
Tratamento	3	0,1522**	3,229 ^{ns}	0,294*	0,599 ^{ns}
Regressão (grau)	1 ^o	0,251**	3,277 ^{ns}	0,583*	0,732 ^{ns}
	2 ^o	0,128*	3,481 ^{ns}	0,081 ^{ns}	0,380 ^{ns}
	3 ^o	0,078 ^{ns}	2,928 ^{ns}	0,218 ^{ns}	0,684 ^{ns}
Erro	27	0,024	2,459	0,085	0,462
Média	---	0,6	8,7	2,2	2,5
CV%	---	24,7	17,9	13,5	27,6

* e ** F significativo a 5% e 1% e ^{ns} F não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

FIGURA 5 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA O TEOR FOLIAR MÉDIO DE Fe, Mn, Cu, Zn, Al E Na EXTRAÍDO VIA HIDROSSOLÚVEL EM ERVA-MATE FERTILIZADA COM NPK

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO					
		Fe	Mn	Cu	Zn	Al	Na
		----- mg kg ⁻¹ -----					
Tratamento	3	225,525**	635119,88**	19,736**	283,936**	84433,36**	8,000**
Regressão (grau)	1 ^o	338,090**	673577,42**	3,948**	464,515**	197361,60**	200,000**
	2 ^o	122,500**	17804,18 ^{ns}	38,612**	150,544 ^{ns}	190,53 ^{ns}	40,000 ^{ns}
	3 ^o	165,984**	1213978,04**	16,646*	236,749*	55747,94**	0,110 ^{ns}
Erro	27	3,274	52220,25	2,250	46,785	4943,28	1,000
Média	---	7,7	789,6	9,4	25,7	361,0	120,0
CV%	---	23,5	28,9	15,9	26,6	19,5	27,8

* e ** F significativo a 5% e 1% e ^{ns} F não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.